



**Francisco de Almeida Barradas Ferreira**

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

**Aplicação da metodologia Seis *Sigma* para o  
aumento da qualidade de processos de  
enchimento de sumo numa Unidade Fabril**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Professor Doutor José Requeijo, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia

Juri:

Presidente: Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos  
Tenera

Arguente: Professora Doutora Ana Sofia Leonardo Vitela de Matos

Vogal: Professor Doutor José Gomes Requeijo



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março 2017**



*Copyright:*

Francisco de Almeida Barradas Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Não foi fácil. Houve alguns obstáculos pelo caminho. Esta dissertação acompanhou-me durante um período da minha vida e com ela coexistiram todos os altos e baixos típicos da nossa existência. Este é o local onde fica registado o merecido reconhecimento às pessoas sem as quais seria impossível caminhar.

Ao professor José Gomes Requeijo pela disponibilidade e transmissão de conhecimentos durante a dissertação. À Engenheira Elsa Carvalho por ter aceite o meu estágio na Sumol+Compal e a todos membros da empresa que me ajudaram e me acompanharam durante o mesmo. Destaco, inevitavelmente, o Engº José Guilherme e o Vítor Mestre pela amizade e por todos os momentos de gargalhadas. Foi um período que nunca vou esquecer.

À Sara, ao Stephan, ao Rui Santos, ao Jorge, ao senhor Luís e ao Paraíba, eles sabem porquê.

A todos os meus amigos. À Jéssica por me ter ajudado, pela amizade e boa disposição, ao Cordeiro, por tudo, à Mariana Monteiro e à Mariana Coelho por todos os momentos que partilhamos durante este período. Ao “xerife” João Santos, um grande “inimigo”, termo que usamos na brincadeira, ao Reguengos, ao Gonçalo, ao Lemos, ao Lúcio e à Rochedo.

À Renata pelo empurrão na auto-confiança.

Ao Diogo e à Maria João, pela boa disposição e boa onda.

Ao meu querido grupo de teatro “A Tribo”. Fazemos arte juntos e isso não se esquece.

Ao meu Pai.

À minha irmã.

À minha avó.

À minha mãe, por não me deixar cair.



## Sumário

Com o intuito de tornar as empresas mais competitivas no mercado, ou seja, para reduzir os custos e aumentar as receitas, a metodologia e a métrica Seis *Sigma* têm sido amplamente utilizadas para esse fim. Permitem aumentar a qualidade dos processos, de acordo com os requisitos internos e externos.

Neste projeto foi aplicado o ciclo DMAIC, parte integrante da filosofia Seis *Sigma*, com o objetivo de melhorar o nível *Sigma* dos processos de enchimento de sumo em embalagens de cartão na unidade fabril de Almeirim pertencente à Sumol+Compal, através de um aumento da capacidade dos mesmos. A característica da qualidade sob a qual se baseou o projeto foi o volume de enchimento de sumo nas embalagens. Estes processos correspondem a 64% do volume de produção total da unidade fabril. A média e o desvio-padrão são os parâmetros do processo que influenciam o valor dos índices de capacidade e, como tal, o projeto incidiu em centrar a média do processo e em reduzir o valor da variabilidade do mesmo. Este objetivo direto tem repercussões a nível financeiro, pois reduz o desperdício de sumo e garante o cumprimento dos limites legais. Durante o projeto, foram identificados as causas responsáveis para o valor reduzido dos índices de capacidade do processo e implementadas melhorias. Em cada uma das fases da metodologia foram utilizadas as ferramentas Estatísticas e de Qualidade apropriadas para cumprir com as metas impostas em cada fase e com a meta global, como sejam as cartas de controlo e desenho de experiências.

Palavras-chave: *Seis Sigma, ciclo DMAIC, Capacidade do processo, Melhoria, Nível Sigma*





## **Abstract**

The Six *Sigma* methodologies and metric have been widely applied for the increase of companies' market competitiveness, by reducing costs and rising revenues. It also allows the increase of the quality of processes, according to internal and external specifications.

In this project was used DMAIC cycle, as an integral part of Six *Sigma* methodologies, for increasing the *Sigma* level in juice filling processes on a carton packaging. This project was developed in a Factory Unit at Almeirim, belonging to Sumol+Compal group. The quality characteristic upon which the work was done was the juice filling volume on packages. These processes have a 64% share in the global production volume of the factory unit. The capacity index values depend on processes' mean and standard deviation and, as such, the work focused on centering the first and reducing the second one. This primal goal has financial consequences, as lowering juice's waste and assuring legal issues accomplishment. During the project, the problems responsible for the low performance in the value of capacity index were identified and were implemented improvement actions in order to solve them. In each of DMAIC phases, statistics and quality tools were used in order to accomplish the specific and global goals, such as control charts and design of experiments.

*Key words: Six Sigma; DMAIC cycle; Process' Capacity; Improvement, Sigma level*



# Índice

1.	Introdução .....	1
1.1	Motivação e justificação do tema.....	1
1.2.	Objetivos .....	1
1.3.	Metodologias de investigação .....	2
1.4.	Estrutura da tese .....	3
2.	Qualidade e Seis <i>Sigma</i> .....	5
2.1	Definição da Qualidade.....	5
2.1.1	Evolução do conceito Qualidade e tendências futuras .....	5
2.2.	Qualidade alimentar .....	7
2.2.1	Normas de Segurança e Legislação.....	7
2.2.2	Metrologia.....	8
2.3	Seis <i>Sigma</i> .....	9
2.3.1	Conceito e evolução .....	9
2.3.2	Definição do Conceito.....	11
2.3.3.	Seis <i>Sigma</i> vs TQM vs Lean .....	13
2.3.4	Fatores críticos de Sucesso.....	14
2.3.5	Seleção de um projeto Seis <i>Sigma</i> .....	15
2.3.6.	Estrutura organizacional do Seis <i>Sigma</i> e equipa de trabalho .....	16
2.3.7	Etapas para implementação do Seis <i>Sigma</i> .....	18
2.3.8.	Estatística e métricas associadas ao Seis <i>Sigma</i> .....	18
2.3.9	A metodologia Seis <i>Sigma</i> .....	24
2.3.10	Ciclo DMAIC .....	24
2.4	Ferramentas e Técnicas da Qualidade .....	28
2.4.1	<i>Project Charter</i> .....	29
2.4.2	SIPOC .....	29
2.4.3.	VOC ( <i>Voice Of Consumer</i> ) e CTQ ( <i>Critical To Quality</i> ) .....	30
2.4.4.	Mapas de Processo .....	30
2.4.5.	Fluxograma.....	31
2.4.6	Brainstorming .....	32
2.4.7	Diagrama de Causa- Efeito .....	33
2.4.8	Diagrama de Pareto .....	34
2.4.9	Diagrama de Dispersão .....	36
2.4.10	Testes de Hipótese.....	37
2.4.11	Desenho de Experiências (DOE) – Dois fatores a vários níveis .....	39
2.4.12	Teste de <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	42

2.4.13 Matriz de Prioridades .....	42
2.4.14 Ferramenta 5W2H.....	43
2.4.15 SPC – Controlo Estatístico de Processos .....	44
3. Caracterização da Empresa .....	53
3.1 Grupo Sumol+Compal .....	53
3.1.1. Breve descrição .....	53
3.1.2 História.....	53
3.1.3 Ramos de negócio .....	54
3.1.4 Infraestruturas.....	54
3.1.5. Estrutura funcional da Sumol+Compal .....	54
3.1.6 Marcas .....	55
3.2 Unidade fabril de Almeirim .....	56
3.2.1 Breve descrição .....	56
3.2.2 Estrutura organizacional da Unidade Fabril de Almeirim.....	56
3.2.3 Controlo de qualidade no <i>Accept</i> .....	60
4. Caso de estudo.....	63
4.1 Definir .....	63
4.1.1 Caraterística em estudo e sua importância .....	63
4.1.2 Análise da proposta .....	64
4.1.3 Descrição do âmbito do projeto.....	67
4.1.4 Definição e descrição do processo .....	70
4.1.5 Calendarização .....	70
4.2. Medir .....	71
4.2.1 Recolha de dados.....	71
4.2.2 Determinação e comparação dos parâmetros e índices de capacidade.....	71
4.2.3 Cálculo do nível <i>Sigma</i> .....	74
4.3 Analisar .....	74
4.3.1 Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Diagrama de Pareto .....	75
4.3.2 Desajustamento do Nível de azoto .....	78
4.3.3 Desalinhamento das mandíbulas .....	80
4.3.4 Caudal e Pressão.....	83
4.3.5 Tara .....	88
4.3.6 Duração da produção do lote.....	88
4.3.7. Erros/Defeitos do <i>Accept</i> .....	90
4.4 Melhorar .....	92
4.4.1 Lista de possíveis medidas de melhoria .....	93

4.4.2 Matriz de prioridades .....	93
4.4.3 Descrição das medidas de melhoria .....	96
4.4.4. Resultado do Teste Piloto e sua análise.....	104
4.5 Controlar .....	105
5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	107
Referências Bibliográficas .....	109
Anexos.....	113
Anexo A: Cartas de controlo da fase Definir .....	113
Anexo B : Teste de <i>Kolmogorov – Smirnov</i> para os dados relativos .....	117
Anexo C : Histogramas que resumem a evolução dos parâmetros e índices de capacidade dos processos .....	120
Anexo D : Cálculo do nível <i>Sigma</i> médio.....	124
Anexo E: Observações da máquina E para o DOE .....	125
Anexo F : Análise dos melhores níveis e pressupostos para a máquina E .....	125
Anexo G: Diagramas de Dispersão .....	129
Anexo H : Análise da Normalidade dos dados dos Testes-Piloto .....	131
Anexo I: Legislação em vigor .....	132



## Índice de Figuras

Figura 2.1 – HACCP vs Controlo Tradicional .....	7
Figura 2.2 Cronologia de aplicação do Seis <i>Sigma</i> .....	10
Figura 2.3 – Pilares do Seis <i>Sigma</i> .....	11
Figura 2.4 - Configuração geométrica da estrutura Seis <i>Sigma</i> .....	17
Figura 2.5 - Etapas para a implementação do Seis <i>Sigma</i> .....	18
Figura 2.6 - Comparação entre Quatro <i>Sigma</i> e Seis <i>Sigma</i> .....	20
Figura 2.7 - Representação gráfica de um Processo com os respetivos Limites de Especificação .....	21
Figura 2.8 Representação gráfica de um processo considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média .....	22
Figura 2.9 Caminhos do Seis <i>Sigma</i> .....	24
Figura 2.10 Relação entre o ciclo PDCA e o ciclo DMAIC .....	24
Figura 2.11 Exemplo de um Mapa de Processo associado a um serviço .....	31
Figura 2.12 Simbologia de um fluxograma .....	32
Figura 2.13 Exemplo genérico de um Diagrama de Ishikawa .....	34
Figura 2.14 Diagrama de pareto .....	35
Figura 2.15 Diagramas de correlação indicando, respetivamente, correlação positiva, negativa e nula .....	36
Figure 2.16 Teste de Hipótese Genérico .....	38
Figura 2.17 Ferramenta 5W2H .....	44
Figura 2.18 Carta controlo de uma variável aleatória genérica .....	47
Figura 2.19 Regras para a deteção de padrões não aleatórios .....	48
Figura 3.1 Perspetiva global da Unidade Fabril de Almeirim .....	57
Figura 3.2 Configuração de um processo no <i>Accept</i> .....	60
Figura 3.3 Relatório de um lote .....	61
Figura 4.1 Informação do valor nominal da embalagem .....	64
Figura 4.2 Carta de Controlo $\bar{X}$ para a máquina D na fase 2 .....	65
Figura 4.3 Carta de controlo S para a máquina D na fase 2 .....	66
Figura 4.4 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina D ....	72
Figura 4.5 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina D .....	72
Figura 4.6 Representação gráfica da evolução do $C_p$ do processo da máquina D .....	73
Figura 4.7 Representação gráfica da evolução do $C_{pk}$ do processo da máquina D .....	73
Figura 4.8 Diagrama de <i>Ishikawa</i> .....	77
Figura 4.9 Diagrama de <i>Pareto</i> .....	78
Figura 4.10 Erro no controlo da média .....	79
Figura 4.11 Mandíbula com chapas de compensação .....	80
Figura 4.12 Válvula de enchimento .....	80
Figura 4.13 Análise de Resíduos: Normalidade .....	85
Figura 4.14 Análise de Resíduos: Homogeneidade da Variância .....	86
Figura 4.15 Box-Cox .....	86
Figura 4.16 Melhor nível do fator "Caudal" .....	87
Figura 4.17 Melhor nível do fator "pressão" .....	87

Figura 4.18 Melhor nível da interação .....	87
Figura 4.19 Diagrama de dispersão - Máquina D .....	89
Figura 4.20 Diagrama de dispersão - Máquina D .....	89
Figura 4.21 Interface do <i>Software Accept</i> .....	90
Figura 4.22 Interface do <i>Software Accept</i> .....	91
Figura 4.23 Alterações do <i>Software Accept</i> .....	99
Figura 4.24 Painel de controlo do nível de azoto nas máquinas em estudo .....	101
Figura 4.25 Esquema de apoio à decisão .....	102
Figura A.1 Carta $\bar{X}$ , Máquina A, Fase 2 .....	113
Figura A.2 Carta S, Máquina A, Fase 2 .....	113
Figura A.3 Carta $\bar{X}$ , Máquina B, Fase 2 .....	113
Figura A.4 Carta S, Máquina C, Fase 2.....	114
Figura A.5 Carta S, Máquina C, Fase 2.....	114
Figura A.6 Carta $\bar{X}$ , Máquina H, Fase 2 .....	114
Figura A.7 Carta S, Máquina H, Fase 2 .....	114
Figura A.8 Carta $\bar{X}$ , Máquina J, Fase 2.....	115
Figura A.9 Carta S, Máquina J, Fase 2.....	115
Figura A.10 Carta $\bar{X}$ , Máquina D, Fase 2 .....	115
Figura A.11 Carta S, Máquina D, Fase 2 .....	115
Figura A.12 Carta S, Máquina E, Fase 2.....	116
Figura A.13 Carta $\bar{X}$ , Máquina F, Fase 2.....	116
Figura A.14 Carta S, Máquina F, Fase 2 .....	116
Figura A.15 Carta $\bar{X}$ , Máquina G, Fase 2 .....	116
Figura A.16 Carta S, Máquina G, Fase 2 .....	117
Figura C.1 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina E.....	120
Figure C.2 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina E..	121
Figura C.3 Representação gráfica da evolução do Cp do processo da máquina E.....	121
Figura C.4 Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da máquina E.....	121
Figura C.5 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina F..	122
Figura C.6 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina F .....	122
Figura C.7 Representação gráfica da evolução do Cp do processo da máquina F .....	122
Figura C.8 Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da máquina F .....	122
Figura C.9 Representação gráfica da evolução da média do processo da Máquina G .....	123
Figura C.10 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da Máquina G	123
Figura C.11 Representação gráfica da evolução do Cp do processo da Máquina G .....	123
Figura C.12 Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da Máquina G .....	124
Figura F.1 Análise da Homogeneidade .....	125
Figura F.2 Análise da Normalidade dos resíduos.....	126
Figura F.3 Box-Cox .....	126
Figura F.4 Melhor nível do fator "Pressão" .....	127
Figura F.5 Melhor nível do fator "Caudal" .....	127
Figura F.6 Melhor nível da interação .....	128
Figura F.7 Configuração do <i>Statistica</i> para o DOE.....	128
Figura G.1 Diagrama de Dispersão da Máquina E.....	129
Figure G.2 Diagrama de Dispersão da Máquina E.....	129



Figura G.3 Diagrama de Dispersão da Máquina F .....	129
Figura G.4 Diagrama de Dispersão da Máquina F .....	130
Figura G.5 Diagrama de Dispersão da Máquina G .....	130
Figura G.6 Diagrama de Dispersão da Máquina G .....	130
Figura I.1 Excerto do decreto-lei nº199/2008 de 8 de Outubro.....	132
Figura I.2 Excerto da portaria nº 1198/91 de 18 de Dezembro .....	132



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Comparação dos conceitos TQM, Seis Sigma e Lean .....	14
Tabela 2.2 Correspondência entre o intervalo de Especificação e DPMO .....	22
Tabela 2.3 Correspondência entre o intervalo de Especificação e DPMO considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média .....	22
Tabela 2.4 Métricas do Seis Sigma .....	23
Tabela 2.5 Correspondência entre DPMO e o custo da não qualidade, considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média .....	23
Tabela 2.6 Correspondência entre as fases do ciclo DMAIC e respectivas atividades, objetivos e ferramentas .....	26
Tabela 2.7 SIPOC - Caso genérico.....	30
Tabela 2.8 Tabela ANOVA.....	41
Tabela 2.9 Possível simbologia e respetivo significado .....	42
Tabela 2.10 Exemplo genérico do preenchimento de uma matriz que compara os critérios .....	43
Tabela 2.11 Exemplo de uma matriz que compara as diferentes soluções segundo um critério.	43
Tabela 2.12 Exemplo da matriz que indica o ranking das soluções.....	43
Tabela 4.1 Parâmetros e índices de capacidade .....	65
Tabela 4.2 Análise de Resultados das Cartas de Controlo - Fase 2 .....	66
Tabela 4.3 Project Charter do projeto .....	68
Tabela 4.4 Voice of consumer e Critical to Quality .....	69
Tabela 4.5 SIPOC do processo.....	70
Tabela 4.6 Calendarização do projeto (data planeada vs data real) .....	70
Tabela 4.8 Nível Sigma médio atual vs Nível Sigma objetivo .....	74
Tabela 4.7 Cálculo do nível Sigma para cada quinzena.....	74
Tabela 4.9 Avaliação das causas .....	76
Tabela 4.10 Ranking das classificações .....	76
Tabela 4.11 Dados para os testes de Hipóteses .....	81
Tabela 4.12 Teste Kolmogorov - Smirnov .....	81
Tabelas 4.13 Testes de Hipótese - Comparação de Variâncias ( Máquinas D, E, F e G ) .....	81
Tabelas 4.14 Testes de Hipótese- Diferença de médias .....	82
Tabela 4.15 Níveis e designação dos fatores.....	84
Tabela 4.16 Dados retirados para o DOE - Máquina D .....	84
Tabela 4.17 ANOVA - Máquina D .....	85
Tabela 4.18 Média e desvio-padrão das taras das embalagens .....	88
Tabela 4.19 Índice de correlação linear e conclusões .....	90
Tabela 4.20 Pontuação e respetivo significado .....	93
Tabela 4.21 Matriz de prioridade dos critérios.....	94
Tabela 4.22 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização do custo"...	94
Tabela 4.23 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização do tempo de implementação" .....	94
Tabela 4.24 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização das dificuldades de implementação" .....	95
Tabela 4.25 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Maximização do impacto" .....	95
Tabela 4.26 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização das dificuldades de controlo" .....	95
Tabela 4.27 Ranking das soluções .....	96
Tabela 4.28 Planeamento das medidas de melhoria através da ferramenta "5W2H" .....	100

Tabelas 4.29 Resultados do teste-piloto.....	104
Tabela 4.30 Cálculo do nível <i>Sigma</i> a partir dos resultados dos testes-piloto .....	104
Tabela 4.31 Comparação do Nível <i>Sigma</i> na fase “Measure”, esperado e atingido.....	104
Tabela B.1 Análise Normalidade Máquina D .....	117
Tabela B.1 Análise Normalidade Máquina D (Continuação) .....	118
Tabela B.1 Análise Normalidade Máquina D (Continuação) .....	119
Tabela C.1 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina D.....	119
Tabela C.2 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina E.....	119
Tabela C.3 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina F .....	119
Tabela C.4 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina G.....	119
Tabela D.1 Cálculo do nível <i>Sigma</i> de cada quinzena da Máquina E.....	119
Tabela D.2 Cálculo do nível <i>Sigma</i> de cada quinzena da Máquina F .....	119
Tabela D.3 Cálculo do nível <i>Sigma</i> de cada quinzena da Máquina G .....	119
Tabela E.1 Observações da Máquina E para o DOE.....	119
Tabela F.1 Tabela ANOVA para a Máquina E .....	119
Tabela H.1 Análise da Normalidade dos dados dos Testes-Piloto .....	119

## Lista de Abreviaturas e Siglas

BRC	<i>British Retail Consortium</i>
CEO	<i>Chef Executive Officer</i>
CGD	Caixa Geral de Depósitos
CTQ	<i>Critical to Quality</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
DPO	Defeitos Por Oportunidade
DPU	Defeitos Por Unidade
E.T.	Estatística de Teste
GQ	Garantia da Qualidade
HACCP	<i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i>
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISSO	<i>International Standards Organization</i>
LC	Linha Central
LIC	Limite Inferior de Controlo
LIE	Limite Inferior de Especificação
LSC	Limite Superior de Controlo
LSE	Limite Superior de Especificação
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
SPC	<i>Statistical Process Control</i>
TL	Limite Legal Individual
TQM	<i>Total Quality Manegement</i>
VOC	<i>Voice of Consumer</i>



## Lista de Símbolos

$C_n$	Número de Critérios
$F$	Variável aleatória com distribuição Fisher
$H_0$	Hipótese Nula
$H_1$	Hipótese Alternativa
$m$	Massa / Número de observações
$n$	Dimensão da amostra
$n_i$	Dimensão da amostra $i$
$P$	Probabilidade
$R$	Amplitude
$r_{xy}$	Coefficiente de Pearson
$S$	Desvio-padrão amostral
$S^2$	Variância Amostral
$t$	Variável aleatória com distribuição t-student
$V$	Volume
$\alpha$	Nível de Significância
$\lambda$	Parâmetro de transformação
$v$	Número de graus de liberdade
$\rho$	Densidade
$\sigma$	Desvio-Padrão do processo
$\sigma^2$	Variância do processo
$\omega$	Variável Aleatória Genérica
$\bar{X}$	Média Amostral
$\Delta$	Variação
$\mu$	Média do processo

# 1. Introdução

## 1.1 Motivação e justificação do tema

A qualidade é uma área que permite diferenciar as empresas em termos de vantagens competitivas. Num contexto teórico, a qualidade recorre à estatística para analisar, objetivar, melhorar, prever, organizar e quantificar os fenómenos existentes. A nível de processo, existem várias ferramentas estatísticas que servem de base ao seu estudo, quer a nível industrial ou de serviços. Num contexto prático, a aplicação dos fundamentos varia de caso para caso, sendo que cada empresa tenta conjugar os mesmos com a qualificação da mão-de-obra, as infraestruturas e equipamento disponíveis, as características dos processos, os *inputs* e *outputs* e a filosofia da mesma. Perante a crescente concorrência, desenvolvimento tecnológico e exigência dos clientes, a forma como as empresas abordam o termo “qualidade” também tem que evoluir, sob o risco de perderem quota de mercado e lucro.

Neste sentido, o Seis *Sigma* é uma filosofia moderna, que vai de encontro aos requisitos da organização e seus clientes, com diversos casos de sucesso desde a sua origem. Em empresas nacionais e internacionais, é notoriamente crescente a sua aplicação.

A SUMOL+COMPAL sempre aplicou o conceito de melhoria contínua e redução de desperdício, porém nunca com uma metodologia formalizada. Este projeto surgiu devido à observação de um problema existente, o valor elevado da variabilidade em alguns processos, o que se repercutia na falta de qualidade dos mesmos, tendo sido proposta a execução de um projeto Seis *Sigma*, assente na sua métrica como forma de quantificar os desvios e no seu ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) para a formalização das várias etapas necessárias para melhorar o problema apresentado inicialmente.

## 1.2. Objetivos

Os objetivos desta dissertação visam conseguir um valor para os índices de capacidade para os processos de enchimento de sumo em formato de cartão nas máquinas de litro e de 330 mililitros tão próximos quanto possível de 1,67, correspondendo a um nível *Sigma* de 6,4. Para isto, é necessário centrar a média do processo no seu valor nominal e reduzir o desvio-padrão.

Como consequência deste objetivo, pretende-se diminuir o desperdício de sumo, assegurar o cumprimento dos limites legais e uniformizar a quantidade de sumo nas embalagens de cartão, estendendo o conceito de melhoria contínua na empresa através do Ciclo DMAIC. Pretende-se



igualmente incentivar, a partir dos resultados deste projeto, eventuais outros processos a serem melhorados utilizando esta metodologia.

### **1.3. Metodologias de investigação**

Numa primeira fase, antes de se iniciar o projeto, foi realizada uma pesquisa sobre a filosofia Seis *Sigma*, a partir de artigos, livros, *web sites* e revistas. Esta pesquisa foi uma fonte de motivação para a realização desta dissertação, devido aos inúmeros resultados positivos atingidos por parte das empresas que utilizaram esta metodologia para diversos objetivos. Por outro lado, a consolidação teórica de algumas ferramentas associadas ao Seis *Sigma* permitiu posteriormente, em cada etapa e à medida que ia sendo preciso, saber qual a aplicar para alcançar determinado resultado.

Como já foi referido, este projeto centra-se em processos de enchimento de sumo em formato de cartão. No entanto, a visita durante duas semanas aos diversos departamentos constituintes da empresa, foi fundamental para possuir uma visão global do negócio e assim perceber a influência das várias áreas no problema abordado, bem como de que forma as melhorias se repercutiriam nessas mesmas áreas.

Para o projeto que dá mote a esta dissertação, utilizar-se-á a filosofia Seis *Sigma*, através da concretização das várias etapas que integram o ciclo DMAIC:

- Definir: Nesta fase será definido o problema, analisado o processo em termos globais, constituída uma equipa do trabalho responsável pelo projeto e definidos os requisitos do mesmo.
- Medir: Nesta fase, a partir de dados recolhidos na empresa, será efetivamente medido o nível *sigma* atual dos processos em estudo e quantificado o nível *sigma* objetivo a concretizar no final do projeto.
- Analisar: Nesta fase serão definidas as potenciais causas responsáveis pelo problema em estudo e será averiguada a forma com que influenciam os resultados do processo.
- Melhorar: Nesta fase serão implementadas medidas que visam melhorar o problema definido em fases anteriores.
- Controlar: Nesta fase serão esboçadas medidas e comportamentos de modo a assegurar que as melhorias concretizadas se estendem ao longo do tempo.

## 1.4. Estrutura da tese

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, os quais:

- Capítulo 1 - Neste capítulo são descritos, de forma sucinta e direta, os objetivos da dissertação, bem como a sua importância e as metodologias usadas.
- Capítulo 2 - Neste capítulo é realizado o enquadramento teórico subjacente à dissertação. Nele é abordada a evolução do conceito da Qualidade, fazendo referência à Qualidade Alimentar, bem como a evolução do conceito Seis *Sigma* enquanto metodologia, os fatores críticos de sucesso na sua implementação, os critérios de escolha de um projeto, a estrutura organizacional da equipa, a Estatística e a métrica associadas à metodologia e o ciclo DMAIC. São ainda referidas e detalhadas as principais ferramentas da Qualidade que suportam o ciclo DMAIC.
- Capítulo 3 - Neste capítulo, em primeiro lugar é abordado o grupo Sumol+Compal em relação à sua história, ramos de negócio, estrutura organizacional e as marcas associadas. Depois, é caracterizada a Unidade Fabril de Almeirim, onde foi realizado o caso de estudo desta dissertação, em termos de estrutura organizacional e funcional, fazendo-se referência aos diferentes departamentos que constituem a Área Técnica. É ainda descrito algumas especificidades do *Software* que suporta o Controlo Estatístico na Unidade Fabril.
- Capítulo 4 – Neste capítulo é apresentado o caso de estudo, subdividido nas cinco etapas do ciclo DMAIC. Em cada uma delas são descritas as várias ferramentas e técnicas utilizadas, bem como as análises efetuadas e respetivas conclusões. Foi identificado o problema que serviu de mote ao projeto, analisadas as causas e propostas medidas de melhoria.
- Capítulo 5 – Neste capítulo são apresentadas e discutidas as conclusões subjacentes ao projeto, bem como sugestões para trabalhos futuros.

Juntamente com a dissertação é entregue um CD organizado por pastas e cujo conteúdo é referido ao longo da dissertação.



## **2. Qualidade e Seis *Sigma***

### **2.1 Definição de Qualidade**

Não existe uma definição absoluta para o termo Qualidade. Existem diversos significados consoante o contexto em que são aplicados, mas subsiste uma ideia comum a todos os gestores da qualidade de diversas áreas: a implementação e controlo de Sistemas da Qualidade pressupõem consenso e objetivos transversais às áreas de uma determinada empresa ou organização baseados numa visão partilhada sobre a definição de Qualidade (Seaw & Young, 1996).

Uma possível definição associa “Qualidade” à perda imputada à sociedade assim que um produto é comercializado, em termos de especificações não cumpridas, existência de não conformidades e efeitos colaterais com risco de provocarem efeitos prejudiciais aos consumidores. Na área da produção, ou seja, na ótica do fabricante, essas perdas incluem desperdícios de matéria-prima, energia e de tempo (Taguchi, 1986).

No âmbito desta dissertação, uma definição conveniente remete o termo “Qualidade” para uma quantificação de um desvio entre uma referência e a realidade (Antunes, 1994). Quanto maior essa diferença, menor é a qualidade do processo.

#### **2.1.1 Evolução do conceito Qualidade e tendências futuras**

Para Pereira & Requeijo (2012), a qualidade é inerente à condição humana em qualquer obra, tarefa e trabalho que realize. Na sua obra, inicia a cronologia da evolução da Qualidade remetendo-a aos tempos em que a produção era artesanal, onde já este termo era entendido de forma muito semelhante à atual, embora baseado em técnicas empíricas e elementares.

Aquando a Revolução Industrial e o consequente aparecimento das fábricas, surgiu o conceito de produção em massa, que arrastou consigo a necessidade de aumentar a eficiência e eficácia das unidades fabris. Ao longo do tempo e com a ocorrência de marcos históricos como a Primeira e a Segunda Guerras Mundiais, a complexidade dos processos foi aumentando a uma taxa cada vez maior, o que despoletou a utilização de métodos estatísticos no planeamento, análise e melhoria da qualidade dos componentes e sistemas. Contudo, até este marco, a Qualidade resumia-se quase unicamente à inspeção, não sendo dada uma importância a esses métodos estatísticos, algo que viria a acontecer a partir da década de 1930. Surgiram, então, os primeiros Departamentos de Controlo da Qualidade. Nas décadas seguintes desenvolveu-se o conceito de “Garantia da Qualidade”, em que se realça a qualidade dos métodos de trabalho, o

desenvolvimento de documentação de suporte e a definição de métodos de controlo adequados (Pereira & Requeijo, 2012).

Em 1995, Drummond afirmou que a Qualidade passara a ser, desde o início da década de 90, o tema dominante no que diz respeito à Gestão. Desde a época artesanal até a afirmação de Drummond, muitas personalidades, acontecimentos, técnicas, publicações, métodos e ferramentas contribuíram para essa evolução. Essa evolução foi resumida em quatro eras por Lucinda (2010), as quais: a era da inspeção (década de 20), a era do Controlo Estatístico da Qualidade (décadas de 30 e 40), a era do Controlo de Qualidade Total (década de 50) e a era de Gestão da Qualidade Total (década de 80).

No novo milénio, a qualidade aliou novos conceitos como a inovação e flexibilidade associados a uma grande e rápida expansão tecnológica. Na viragem do mesmo, Maguad (2006) sustentou que a tecnologia iria agilizar e impulsionar a qualidade, fornecendo sistemas que permitiriam encontrar soluções no instante em que elas fossem precisas e antecipando problemas através da monitorização digital de todos os parâmetros dos processos, quer no que diz respeito a produtos quer a serviços.

Prevê-se que no futuro, as técnicas, ferramentas e métodos da qualidade, bem como os objetivos da sua utilização, evoluam a uma taxa elevada, acompanhando a crescente complexidade dos mercados que estão constantemente a incorporar novas aplicações e tecnologias. Estamos, atualmente, na era da informação. A designação de “Gestor da Qualidade” irá ser transformada em “Gestor da Mudança”, que será o responsável pela integração da estatística com a abordagem sociológica e humana. Na prática, isto significa que a qualidade irá ter como principal objetivo a proteção da humanidade às mudanças disruptivas para o ambiente e para a vida social e económica dos cidadãos (Maguad, 2006).

Aquando a Revolução Industrial, a força Humana foi substituída por máquinas, programadas e controladas por seres humanos. Com o aparecimento de uma nova área que será o futuro da produção e dos serviços, designada *Machine Learning*, as máquinas não irão mais ser programadas, mas ensinadas. O controlo da Qualidade, por sua vez, passará a exigir altas qualificações e competências as quais, atualmente, só um número restrito de pessoas têm (Monaghan, 2016).

## 2.2. Qualidade alimentar

### 2.2.1 Normas de Segurança e Legislação

Na indústria alimentar, a qualidade é especialmente importante, pois caso os produtos comercializados não cumpram as especificações, as consequências podem levar à doença ou até à morte do consumidor. A qualidade alimentar está ligada aos requisitos físicos, químicos e/ou microbiológicos que podem ocorrer em qualquer ponto da cadeia de abastecimento, desde a produção de matérias-primas até ao consumidor (Articles: Food industry standards focus on HACCP, 2013).

As normas para a Indústria Alimentar são realizadas por organizações nacionais e internacionais nomeadamente a *International Standards Organization* (ISO) ou pela própria indústria através de um corpo representativo como, por exemplo, o *British Retail Consortium* (BRC). No que diz respeito à legislação, o Regulamento (CE) Nº 178/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho de 28 de Janeiro de 2002 determina os princípios e normas gerais da legislação alimentar, cria a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos e estabelece procedimentos em matéria de segurança dos géneros alimentícios. A relação entre as normas e as leis baseia-se no facto da primeira ser uma interpretação com o objetivo de implementar a legislação nas organizações. (Articles: Food industry standards focus on HACCP, 2013). A figura 2.1 compara o HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) com o Controlo Tradicional.

HACCP	CONTROLO TRADICIONAL
Análise de probabilidades de contaminação ao longo da cadeia alimentar	Inspeção no produto final ou em etapas consideradas críticas
Análise sistemática	Análises pontuais
Controlo contínuo	Controlo irregular
Deteção precoce de situações de perigo	Deteção ocasional de situações de perigo (sorte/azar)
Actuação proactiva (Preventiva)	Actuação reactiva (Correctiva)
GARANTIA DE SEGURANÇA	SEGURANÇA INCOMPLETA

**Figura 2.1 – HACCP vs Controlo Tradicional** (Food industry standards focus on HACCP, 2013)

O HACCP constitui a base da legislação europeia e internacional para as empresas do sector alimentar e é um componente chave do comércio internacional de produtos alimentares, cuja sigla significa “Análise dos Perigos e Controlo dos Pontos Críticos”. Este método permite identificar as fases críticas dos processos que possam levar a uma falta de segurança do produto. Baseia-se numa atuação preventiva com a sustentação da garantia da Segurança (Afonso, 2006).

### 2.2.2 Metrologia

A metrologia é a ciência da medição que analisa os instrumentos, as técnicas e os resultados da medição de um determinado parâmetro de um produto. A Metrologia e a Qualidade não são sinónimas, mas são dependentes uma da outra (Antunes, 1994).

Existem três categorias da metrologia (Sousa, 2008):

- Científica aplicada - Engloba a realização das unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI) e a investigação e desenvolvimento nas áreas da metrologia.
- Legal - Compreende o Controlo Metrológico e avalia a conformidade de instrumentos de medição e/ou técnicas com os regulamentos, dizendo respeito ao consumo. Tem como principais áreas de ação o comércio, a saúde, a segurança, a defesa do consumidor, o ambiente e a energia.
- Aplicada ou Industrial - Insere-se no controlo de produtos e processos na indústria e laboratórios, dizendo respeito à produção.

A Aferymed é um organismo de verificação Metrológica reconhecido pelo IPQ (Instituto Português da Qualidade), e que, através do Despacho nº 16539/2013, realiza ensaios de verificação metrológica de Pré-Embalados Líquidos e Sólidos para todo o território nacional. Entenda-se Pré-Embalados como o produto cujo acondicionamento foi efetuado antes da sua exposição para venda ao consumidor em embalagem que solidariamente com ele é comercializada, de tal modo que a quantidade de produto contido na embalagem tenha um valor previamente escolhido e não possa ser alterado sem que a embalagem seja aberta ou sofra uma alteração perceptível. (Decreto Lei n.º 199/2008 de 8 de Outubro).

Da Portaria 1198/91 de 18 de Dezembro destacam-se dois procedimentos legais inseridos no Regulamento do Controlo Metrológico das Quantidades dos Produtos Pré-Embalados:

1. Um lote é aceite legalmente se a média do lote calculada através de amostras não for inferior ao valor nominal expresso nas embalagens correspondentes ao lote em questão.
2. Um lote é aceite legalmente se não houver unidades que excedam os limites individuais:  $\pm 15$  mm para embalagens de litro e  $\pm 9$  mm para embalagens de 330 mm.

## 2.3 Seis Sigma

### 2.3.1 Conceito e evolução

Em todos os artigos, dissertações, livros e demais meios de investigação e divulgação científica, é incontornável a associação do início da aplicação desta metodologia à empresa *Motorola* e ao ano de 1987.

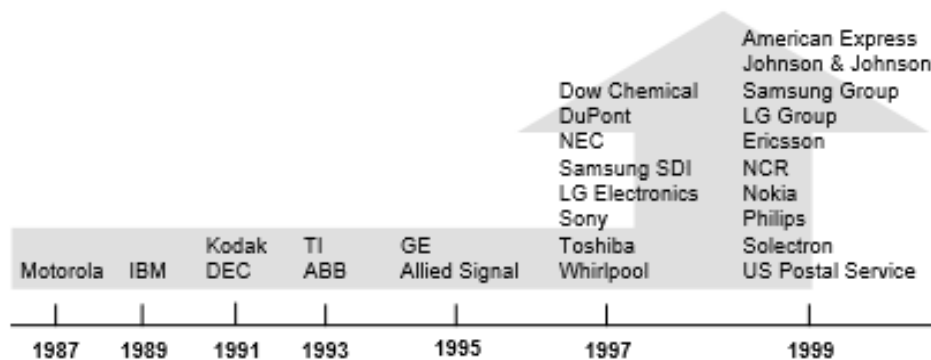
O Seis Sigma foi a consequência de alterações na gestão da empresa no que diz respeito à qualidade com o objetivo de a tornar mais competitiva face à concorrência, que estava a oferecer aos clientes produtos de melhor qualidade a um custo mais reduzido. Essas alterações tiveram como responsáveis o CEO da empresa – Robert Galvin – e os respetivos gestores de topo. Depois de alguns testes piloto para testar a viabilidade da metodologia, o CEO, a 15 de Janeiro de 1987, definiu formalmente como objetivo do projeto Seis Sigma a obtenção de um valor do índice capacidade correspondente ao nome desta metodologia (3,4 DPMO – Defeitos por milhão de oportunidades), para o ano de 1992 (Park, 2003).

Em 1988, sensivelmente um ano depois da implementação do projeto, a empresa ganhou o Prémio Nacional de Qualidade *Malcom Baldrige*, devido ao notório sucesso em termos de inovação da qualidade na Indústria. Seguiu-se a fundação do Instituto Seis Sigma da *Motorola*, em 1990 (Werkema C. , 2004).

Losianowycz quantificou os resultados da aplicação do Seis Sigma na *Motorola*, no intervalo de tempo entre 1987 e 1997. O objetivo correspondente à redução da variação do processo para 3,4 DPMO foi atingido, bem como uma redução de custos de quase 13 biliões de dólares, um aumento nas receitas estimado em 20% e um aumento da produtividade na ordem dos 204% (Park, 2003).

Simultaneamente aos bons resultados atingidos, a metodologia expandiu-se para o mundo inteiro. Implementaram-se programas de aprendizagem e treino a grande escala e estenderam-se os campos de aplicação, que começou na indústria, até processos transacionais, de apoio ao cliente, de engenharia e serviços. Sempre com resultados positivos, o Seis Sigma foi integrado, a uma taxa elevada, nas grandes empresas Mundiais (Pierce, 2011). Na figura 2.2 está esquematizada cronologicamente a implementação da metodologia em várias organizações.





**Figura 2.2 Cronologia de aplicação do Seis Sigma** (Pierce, 2011)

Estas empresas são exemplos de sucesso da aplicação do Seis Sigma. Note-se que as empresas presentes no esquema até 1995 (*IBM, Kodak, DEX, TI e ABB*) correspondem a indústrias eletrónicas. Esse ano, com a implementação nas empresas *GE* e *Allied Signal*, marcou a origem da aplicação da metodologia em empresas não eletrónicas, sempre com resultados positivos, como é o caso da *Samsung*, a qual implementou a metodologia em 1997, tendo conseguido reduzir os custos em 150 biliões de dólares (Park, 2003). Outro exemplo de sucesso em indústrias não eletrónicas é o caso da *Allied Signal* que até quatro anos após a implementação, conseguiu aumentar o lucro em 1,2 biliões de dólares, tendo, nesse intervalo de tempo, formado seis mil pessoas (Werkema C. , 2004). Para além disso, esta empresa realça a transversalidade do Seis Sigma, aplicando-o não só na área da produção, mas também na gestão da cadeia de abastecimento e na análise dos requisitos e satisfação dos clientes. Deste fato, advém a conclusão que a própria perspectiva da metodologia foi evoluindo, através do acréscimo de valor das empresas nas quais o Seis Sigma tinha vindo a ser implementado. Numa fase inicial, segundo uma perspectiva fabril, na redução dos desvios e eliminação dos defeitos, ligada à área da produção; numa segunda fase, verificou-se o alargamento da metodologia a diferentes áreas e atividades da empresa; e numa terceira fase, observou-se o alargamento a toda a cadeia de abastecimento (fornecedores, fabricantes, distribuidores, retalhistas e cliente final) (Hans *et al.*, 1999).

Mas não só nas designadas grandes empresas se verificaram estes resultados. Como prova que a metodologia também é aplicável a pequenas empresas, invoca-se o exemplo da fábrica *Solectrony*, na Suécia, a qual, nos primeiros dez meses do ano 2000, reduziu meio bilião de dólares em custos (Klefsjö, *et al.*, 2001).

Em 2003, a *Motorola* levou o Seis Sigma para uma nova fase designada por “*Digital Six Sigma*”. O termo “digital” foi usado para concretizar a necessidade de que as soluções implementadas teriam que ser controladas através de um sistema não manual para assegurar que a melhoria seria sustentada ao longo do tempo (Pierce, 2011).

Em Janeiro de 2011, com a desintegração da Motorola em duas empresas, surgiu a dúvida se se deveria utilizar o Seis Sigma em conjunto ou separadamente nas duas empresas. Decidiu-se utilizar a metodologia a partir do zero, ou seja, todas as etapas que levam à concretização da mesma foram percorridas novamente e, desta vez, alargadas a todas as áreas e todos os problemas da empresa (Pierce, 2011).

A continuidade e o futuro do Seis Sigma está relacionado com a melhoria contínua e a própria perspectiva, como se tem verificado, é absolutamente volátil ao aparecimento de novas tecnologias, às demandas dos clientes que se alteram de dia para dia, à evolução da recolha, tratamento e análise dos dados e, portanto, esta metodologia carece de uma constante inovação e adaptação às realidades das empresas.

Numa diferente visão, o empresário Rick Smith alerta para o perigo do Seis Sigma, na medida em que ao reduzir ao máximo os desvios, constrói-se eventualmente uma barreira à inovação e ao crescimento futuro das empresas, comparando a evolução das empresas à evolução dos seres vivos: só a partir dos desvios foi possível, através da lei do mais forte teorizada por Darwin, o aparecimento de seres cada vez mais evoluídos e adaptados. Mesmo sabendo que a redução dos desvios e da variação dos processos aumenta a eficiência em termos de lucro, é através deles que é possível encontrar caminhos alternativos que possam corresponder às alterações dos mercados (Smith, 2014).

### 2.3.2 Definição do Conceito

*“O seis Sigma fornece um tremendo acréscimo de valor numa empresa para a obtenção da excelência e medição do progresso e, para tal, a configuração e desenvolvimento de programas Seis Sigma tem que estar em acordo com os resultados subjacentes aos vários prémios Internacionais da Qualidade”.* (Klefsjö, et al., 2001).



Figura 2.3 – Pilares do Seis Sigma (Werkema, 2004)

A terminologia do conceito remete para uma medida estatística da capacidade de um processo que averigua a sua eficácia em produzir unidades ou produtos que estejam dentro das especificações, ou seja, que não apresentem defeitos. Num contexto estatístico, sigma ( $\sigma$ ) é o símbolo de um dos parâmetros de um processo, o desvio-padrão. Num contexto metodológico, um processo com nível Seis *Sigma* pressupõe um número de defeitos por milhão de oportunidades que não exceda o valor de 3,4. Associado ao nível *Sigma* de um processo estão implícitos os conceitos de “custo da qualidade” ou “custo da fraca qualidade” que significam o custo que uma empresa acarreta devido às unidades não conformes (Klefsjö, *et al.*, 2001).

Num primeiro relance, é intuitivo concluir que não existe nada de novo nesta metodologia, porque o que está na base da mesma é a aplicação de ferramentas da qualidade utilizadas há muito nas empresas com o objetivo da eliminação dos defeitos e do aumento da qualidade nos processos. Contudo, é a forma que se as abordam, utilizam e implementam, que permite o sucesso da metodologia (Werkema C. , 2004). Na figura 2.3 estão expressos os três pilares para o sucesso da metodologia.

Segue-se a definição do conceito segundo as perspetivas de vários autores.

- (Hans *et al.*, 1999) – Quando usado como métrica, o Seis *Sigma* remete para um processo, produto ou serviço que não exceda os 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.
- (Desai & Shrivastava, 2008) – Seis *Sigma* é considerada uma metodologia para a implementação do TQM (Total Quality Management), de forma inovadora e contínua.
- (Tomkins, 1997) – Seis *Sigma* é uma metodologia que se concentra na eliminação dos defeitos nos produtos, processos e transações.
- (Harry, 1998) – É uma estratégia baseada em técnicas estatísticas cuja aplicação tem como finalidade aumentar o lucro, a quota de mercado e o nível de satisfação dos clientes.
- (Park, 2003) - A essência da metodologia é a integração de quatro elementos (cliente, processo, força humana e estratégia) para conceder inovação à gestão das organizações, através de uma abordagem sistemática, científica e estatística.
- (Lucas, 2002) – Seis *Sigma* é uma metodologia com o fim de melhorar de forma disciplinada a qualidade, o qual elimina o medo da mudança nos trabalhadores, incentivando a inovação.
- (Werkema C. , 2004) – É uma metodologia com critérios e resultados quantitativos, com o objetivo de alcançar um maior valor de receitas e reduzir vários níveis de custos, de forma a aumentar o rendimento global de uma empresa.
- (Pyzdek & Keller, 2010) - Seis *Sigma* baseia-se na aplicação de métodos que têm sido usados há décadas, diferenciando-se da complexidade que caracteriza o método de TQM.

### 2.3.3. Seis Sigma vs TQM vs Lean

Existem diferenças em termos de visão entre os três conceitos abordados neste subcapítulo, mas a ideia principal é que as mesmas têm pontos em comum e é congruente a sua junção em torno de um determinado objetivo.

TQM (*Total Quality Manegement*) é um sistema de gestão que consiste em metodologias e ferramentas para aumentar a satisfação do cliente simultaneamente à redução de recursos utilizados para tal e originando, conseqüentemente, a uma redução de custos. Como tal, o TQM compreende o Seis Sigma, na medida em que transforma os valores, metodologias e ferramentas do primeiro num contexto prático, concreto e adaptado aos diferentes ramos de aplicação. O Seis Sigma prevalece, acima de tudo, pela sistematização e organização de conceitos, podendo ser visto como o caminho para atingir os objetivos preconizados pelo TQM (Klefsjö, *et al.*, 2001).

*Lean*, por si só, tem como principal valor o tempo, focando-se na redução do tempo entre atividades e no próprio tempo de ciclo, na ótica de que quanto menor for o tempo de ciclo, maior a produtividade e menor o desperdício. Para além deste fator, esta metodologia identifica os oito grandes tipos de desperdício que devem ser eliminados de um determinado processo com o objetivo de reduzir tempos e custos (Mckenzie, 2009):

- Tempo de espera – espera pela próxima atividade, pela próxima etapa do processo ou pela informação.
- Sobreprodução – produzir antes ou em excesso, o que resulta na expiração do produto e/ou excesso de *stock*.
- Sobreprocessamento – esforços que não acrescentam valor ao cliente.
- Excesso de movimentações de pessoas – movimentos de transporte de pessoas que não são necessários, derivado a uma deficiente organização das atividades.
- Capital humano – não utilização da total capacidade dos recursos humanos, o que resulta numa desmotivação e uma conseqüentemente redução os níveis de produtividade.
- Excesso de *stock* – quando a oferta da empresa é superior à procura.
- Grande número de defeitos – engloba unidades de produto não conforme que são inutilizadas ou exigem retrabalho.
- Movimentos desnecessários de materiais – derivado a uma má conceção logística do espaço, ou seja, existência de um *layout* ineficiente.

Os conceitos de *Lean* e *Seis Sigma* interligam-se na medida em que, sendo o foco deste último a redução da variabilidade e desvios do processo, ele próprio contribui para uma redução de desperdício em termos de unidades não conformes. A combinação das duas metodologias resultam num mapeamento do processo de forma a concretizar o melhor fluxo de trabalho possível, permitindo à empresa aumentar a sua produtividade e lucro, reduzindo desperdícios e eliminando custos (Mckenzie, 2009).

**Tabela 2.1 Comparação dos conceitos TQM, Seis Sigma e Lean** (Anderson & Torstensson, 2006)

Conceitos	TQM	Seis Sigma	Lean
<b>Origem</b>	Japão	Motorola e Japão	Japão e Toyota
<b>Teoria</b>	Foco nos clientes	Zero defeitos	Remoção do desperdício
<b>Perspetiva de processo</b>	Melhorar e uniformizar	Redução da variabilidade	Melhorar o fluxo de trabalho
<b>Líder</b>	Comprometimento geral	Gestor do Projeto	Gestor do projeto
<b>Metodologia</b>	Ciclo PDCA ( <i>Plan, Do, Check, Action</i> )	Ciclo DMAIC ( <i>Define, measure, analyze, improve, control</i> )	Valor do cliente, <i>benchmarking</i> , análise dos desperdícios, melhorar o fluxo e alcançar a excelência
<b>Ferramentas</b>	Analíticas e Estatísticas	Analíticas e Estatísticas (avanzadas)	Analíticas
<b>Resultados Primários</b>	Aumento da satisfação do cliente	Redução de custos	Redução do “Lead Time”
<b>Resultados secundários</b>	Fidelização dos clientes	Concretização dos objetivos do projeto	Redução do Stock, aumento da produtividade e da satisfação do cliente
<b>Desvantagens</b>	Os resultados não são quantitativos	Não envolve todos os colaboradores da empresa	Reduz a flexibilidade, pode causar um congestionamento na cadeia de abastecimento e não é aplicável em todas as indústrias

### 2.3.4 Fatores críticos de Sucesso

Como foi descrito, a implementação de um projeto *Seis Sigma* acarreta benefícios em relação ao aumento do lucro da empresa e competitividade face à concorrência. Mas para se alcançar estes objetivos, é necessário que o retorno supere o investimento realizado num projeto.

Coronado e Antony (2002) resumem os fatores críticos de sucesso para a implementação de um projeto Seis *Sigma*.

- Comprometimento da gestão de topo, participando como parte integrante da equipa em todas as etapas do projeto e fornecendo recursos para que o mesmo possa ser viável. Nos casos de sucesso anteriormente descritos (Motorola, GE, Allied Signal), houve envolvimento dos respetivos CEO's, contrariando a resistência à mudança por parte de gestores que a eles reportavam.
- Na sequência disto, surge outro fator que influencia o sucesso do projeto: a mudança da cultura da empresa necessária para implementar um projeto deste tipo. É necessário um ajustamento e reestruturação a nível organizacional e de infraestruturas, fundamentalmente no que diz respeito à implementação de medidas de melhoria, muitas vezes travadas por um espírito mais conservador.
- Características organizacionais e infraestruturais, que compreendem recursos financeiros necessários para a implementação do projeto, competências de comunicação e trabalho em equipa por parte dos recursos humanos que participam no projeto e, no que diz respeito à própria empresa, ter uma visão progressista e direcionada para resultados a longo prazo.
- Comunicação eficaz a todos os membros envolvidos indiretamente na metodologia. A título de exemplo, para a aplicação de uma medida de melhoria a uma máquina, é necessário que o operador da mesma entenda numa ótica global Seis *Sigma* a razão para uma mudança na sua rotina de trabalho.
- Treino e formação, concedendo competências aos membros das variadas áreas de uma empresa para, numa eventual necessidade de integrarem um projeto, não haja um desperdício de tempo a explicar os aspetos fundamentais da metodologia.
- Competências de gestão de projetos, especificamente por parte do líder do projeto, em termos de gestão do tempo, agendamento de reuniões, visão geral das várias etapas e determinação do papel e responsabilidades de cada membro da equipa.

Os autores invoca ainda outros fatores como a ligação entre Seis *Sigma* e os recursos humanos, clientes e cadeia de abastecimento, que já foi abordado numa parte anterior deste capítulo.

### **2.3.5 Seleção de um projeto Seis *Sigma***

A seleção do projeto necessita de uma análise global em termos financeiros, sempre na ótica de maximizar os benefícios para a organização, e tem que estar de acordo com o modelo de negócio da empresa (Coronado & Antony, 2002).

Werkema (2004), lista as possíveis formas de obtenção de um potencial projeto Seis *Sigma*: indicadores referentes a desperdícios, problemas na qualidade dos produtos, custos que exercem um grande impacto no orçamento da empresa, reclamações e sugestões dos clientes e colaboradores da empresa, resultados do benchmarking, extensões de projetos em curso, resultados de pesquisas sobre tendências de mercado e oportunidades para a melhoria de produtos e processos.

A seleção de um projeto entre os potenciais, está inserido na primeira fase do ciclo DMAIC, que será abordado posteriormente e é concretizada através de aplicação de ferramentas como a Análise Multicritério.

Pande *et al.* (2000) definem os principais tipos de critérios usados para a seleção de um projeto:

- Critério dos benefícios empresariais: nele constam análises como o impacto nos requisitos do cliente, impacto financeiro na empresa e impacto na *performance* da empresa.
- Critério de viabilidade: análise da complexidade do projeto proposto, os recursos necessários (dinheiro, tempo, pessoas) e dados disponíveis.
- Critério organizacional: análise de eventuais mudanças estruturais na empresa, no que diz respeito à relação com os clientes, fornecedores, distribuidores e processos.

Realça-se ainda alguns aspetos a ter em conta aquando a seleção (Werkema C. , 2004):

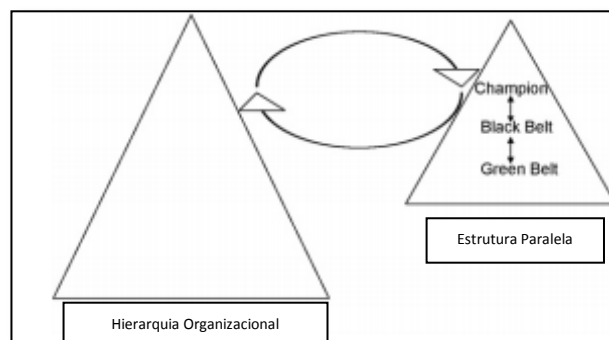
- A duração do projeto não deve exceder os 12 meses;
- Deve existir um problema ou uma oportunidade;
- A causa do problema não deve ser conhecida;
- A solução ótima para o problema não deve ser conhecida.

### **2.3.6. Estrutura organizacional do Seis *Sigma* e equipa de trabalho**

Distingue-se, em primeiro lugar, os membros da equipa de trabalho de um projeto Seis *Sigma* e os membros da empresa que indiretamente participam no projeto. Nestes últimos incluem-se os colaboradores que, não fazendo parte da equipa, são responsáveis por funções que estão associadas ao âmbito do projeto e, como tal, é necessário estarem enquadrados com a metodologia através de formações internas.

Uma equipa de um projeto Seis *Sigma* pode ser formalmente disposta numa hierarquia, onde cada posição ocupada pelos membros tem uma designação específica, bem como funções associadas. De notar que se trata apenas de uma designação, importante porque confere organização ao projeto, mas é possível concretizar um projeto não utilizando a estrutura

tradicional. A mesma foi criada por Mikel Harry, diretor do Instituto Seis Sigma da *Motorola* (Karthi *et al.*, 2012).



**Figura 2.4 - Configuração geométrica da estrutura Seis Sigma** (Schroeder, *et al.*, 2008)

Esta hierarquia apresenta uma mesoestrutura paralela, a qual, segundo Lawler (1997), são estruturas organizativas disruptivas dentro de uma empresa, as quais operam de forma diferente à rotina habitual e que obedecem a uma determinada ordem posicional. Werkema (2006) explicita essa ordem, denomina os papéis dos elementos da equipa e associa as funções correspondentes (note-se que a lista que se segue inicia-se na base da pirâmide que corresponde à posição “mais baixa” da estrutura organizacional):

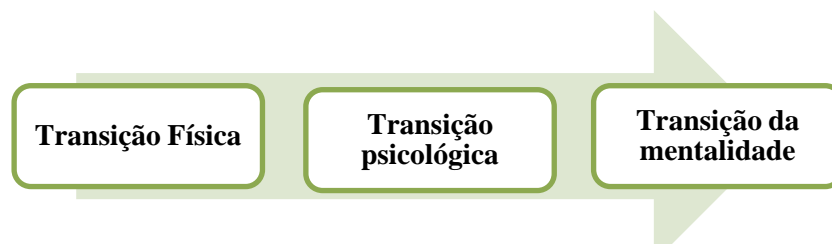
- **White Belt** – É o agente que assegura a operacionalidade das medidas implementadas, ou seja, está diretamente ligado ao terreno. Na gíria fabril, é o elemento mais próximo do “chão de fábrica” (Werkema, 2006).
- **Yellow Belt** – É o elemento responsável pela supervisão das ferramentas utilizadas, nas fases iniciais do projeto. Operacionaliza projetos menos complexos que os *Green Belt* (Werkema, 2006).
- **Green Belt** – Lidera projetos mais complexos, de um ponto de vista operacional, por norma em *part-time*, e assiste os *Black Belts* (Coronado & Antony, 2002).
- **Black Belt** – Lidera os projetos, em *full-time*, de um ponto de vista estratégico e que tenham grande impacto na melhoria financeira da organização (Coronado & Antony, 2002)
- **Master Black Belt** – Possuem um conhecimento avançado de técnicas e ferramentas estatísticas. São responsáveis por formar e orientar os *Black Belt* e os *Green Belt*, tendo grande experiência na aplicação da metodologia (Taghizadegan, 2010).
- **Champion** – É responsável pela organização das infraestruturas necessária para o projeto, bem como pela concessão dos recursos para concretiza-lo, removendo eventuais barreiras à sua concretização (Coronado & Antony, 2002); (Werkema, 2006).



- **Sponsor Facilitator** – Auxilia o *Sponsor* na implementação do programa. (Werkema, 2006).
- **Sponsor** – É o principal executivo da empresa e define as diretrizes para a implementação do programa. (Werkema, 2006).

### 2.3.7 Etapas para implementação do Seis Sigma

Um dos fatores críticos de sucesso listados anteriormente é a mudança cultural da empresa, necessária para implementar uma metodologia que implica uma alteração no seu cotidiano, em termos organizacionais e de processo.



**Figura 2.5 - Etapas para a implementação do Seis Sigma**

O esquema da Figura 2.5 representa as três etapas necessárias para a implementação de um projeto *Seis Sigma*, propostas por Sadagopan *et al.* (2005). A primeira transição compreende uma equipa *Seis Sigma* como uma célula formalizada dentro da empresa, a qual precisa de ser abastecida com recursos físicos (dinheiro, materiais e pessoas). Quem gere estes recursos é o líder do projeto, designado (quando na empresa existe a estrutura tradicional) por *Master Black Belt*. A segunda etapa é assente na motivação de todos os participantes no projeto, para que o foco no mesmo seja total. Esta motivação deve partir dos líderes do projeto e espalhar-se a todos os intervenientes, através de uma desconstrução psicológica da hierarquia, incentivando-os a realizar propostas e não apenas acatando ordens. A ideia de objetivo comum é fundamental para alcançar esta etapa. Por último, a transição da mentalidade remete ao fato de todos os trabalhadores da empresa, em especial os diretamente associados ao (s) projeto (s), tenham a excelência como meta, o que na prática significa regirem-se pelo objetivo de “**zero defeitos**”.

### 2.3.8. Estatística e métricas associadas ao Seis Sigma

Para entender o conceito prático do *Seis Sigma*, é necessário compreender as bases estatísticas que lhe estão associadas. As óticas de aplicação desta metodologia são várias, desde produtos, serviços e processos. Com o intuito de averiguar a origem estatística da metodologia, neste subcapítulo é focada a perspetiva de processo.

Um processo é definido como o conjunto de atividades relacionadas entre si e que transformam um *input* num *output* e deve satisfazer os requisitos internos e externos. A um processo está

associada uma ou mais características da qualidade (Pereira & Requeijo, 2012). A essa característica da qualidade está associada uma variável aleatória, com uma determinada unidade, que quantifica a característica.

Quando se aborda o Seis *Sigma* na perspectiva da Estatística, usa-se a distribuição Normal ou de Gauss como a distribuição que modela o comportamento da variável aleatória associada à característica da qualidade.

Os parâmetros da população (média e desvio-padrão), quando não conhecidos, podem ser estimados utilizando estimadores pontuais ou intervalos de confiança.

Estas noções irão ser referenciadas numa parte posterior deste capítulo, nomeadamente na teoria estatística subjacente ao Seis *Sigma* e às Cartas de Controlo.

### ***Capacidade de um processo***

Para entender a Estatística inerente ao Seis *Sigma*, é fundamental relacioná-la com a capacidade do processo, pois é a base de toda a teoria associada. Como se irá constatar, a capacidade de um processo está intimamente ligada ao respetivo nível *Sigma*. Aumentar a capacidade do processo é aumentar o nível *Sigma*.

Para Pereira & Requeijo (2012), a análise da capacidade do processo consiste em comparar a distribuição de uma determinada característica do produto com as especificações previamente estabelecidas e permite, entre outras:

- Reduzir a variação do processo;
- Ajudar a selecionar ou modificar um processo ou uma máquina;
- Prever ou aferir se o processo é capaz de produzir de acordo com as especificações do cliente.

Existem índices de capacidade que concretizam um valor para o conceito e que serão abordados mais detalhadamente aquando o subcapítulo “Controlo Estatístico de processos”. Realça-se que a capacidade de um processo:

- É tanto maior quanto maior for a proporção entre (LSE – LIE) e  $6\sigma$ , sendo que LSE significa Limite Superior de Especificação e LIE significa Limite Inferior de Especificação.
- É tanto maior quanto mais próximo estiver a média do processo relativamente à média dos limites de especificação, ou seja, quanto mais o processo estiver centrado.
- É tanto maior quanto menores forem as unidades produzidas que ultrapassem os limites de Especificação.

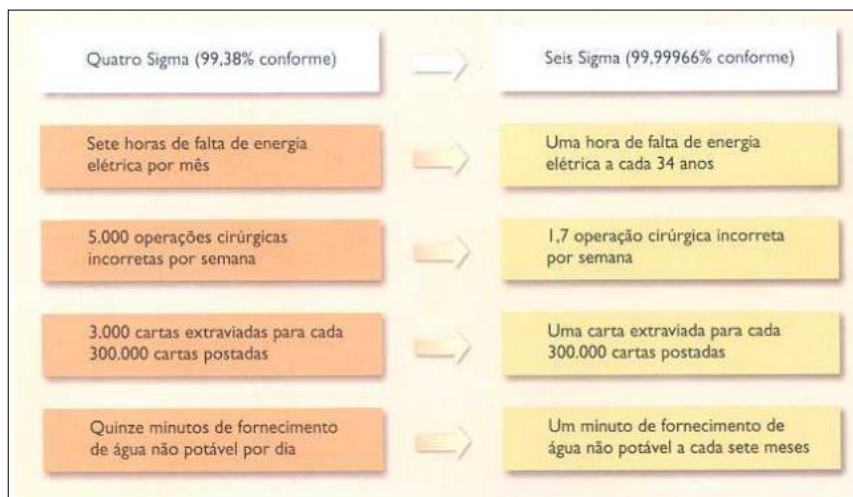
- É tanto maior quanto menor for a variabilidade do processo, qualquer que seja o índice de capacidade utilizado.

### ***Definições que suportam as métricas***

Werkema (2004) define alguns conceitos importantes quando se estuda as métricas do Seis Sigma:

- Unidade de produto – é um bem ou serviço cujo destinatário é o cliente final.
- Defeito – não cumprimento de um requisito especificado e que afeta a satisfação do cliente.
- Defeituoso- unidade de produto que apresenta um ou mais defeitos.
- Oportunidades para defeito – cada requisito necessário à satisfação do cliente, representa uma oportunidade para não corresponder às especificações, ou seja, para apresentar defeito.

Embora neste capítulo já se tenham apresentado definições de Seis Sigma segundo vários autores, Werkema (2004) ilustra, a partir de situações práticas, a diferença entre o padrão Quatro Sigma (utilizado na maioria das empresas ocidentais) e a Performance Seis Sigma, representada na figura 2.6.



**Figura 2.6 - Comparação entre Quatro Sigma e Seis Sigma (Werkema, 2004)**

### ***A essência Estatística da métrica DPMO e Nível Sigma e associação com a capacidade de um processo***

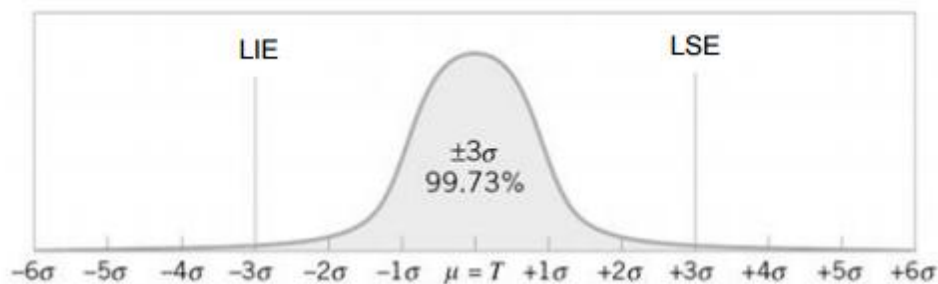
Existem várias métricas segundo a qual é possível quantificar a qualidade de um processo, produto ou serviço.

A métrica que se refere neste subcapítulo é a mais utilizada nos programas Seis Sigma, e que está associada aos conceitos de DPMO e nível Sigma. A conversão de DPMO para nível sigma pode ser feita utilizando a expressão (2.1) abordada por Schmidt *et al.*(1997).

$$\text{Nível Sigma} = 0,8406 + 29,37 - 2,221 * \ln(\text{DPMO}) \quad (2.1)$$

Uma forma de calcular o DPMO é definindo como defeito as unidades de um produto que ultrapassam um dos limites de especificação (LSE e LIE), calcular a probabilidade de isso acontecer e, seguidamente, calcular o valor esperado de defeitos em um milhão de oportunidades.

$$\text{DPMO} = [P(X > \text{LSE}) + P(X < \text{LIE})] * 10^6 \quad (2.2)$$



**Figura 2.7 - Representação gráfica de um Processo com os respectivos Limites de Especificação** (Montgomery & Woodall, 2008)

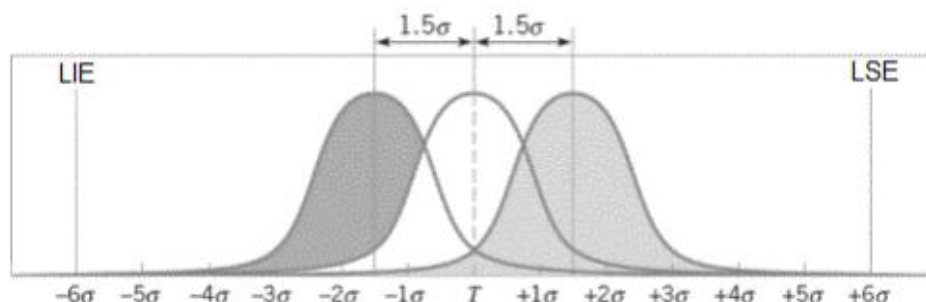
Admitindo que um processo está centrado, diz-se que o nível sigma é 3 se a distância entre a média do processo e os respectivos Limites de Especificação for igual a 3 desvios-padrão (Montgomery & Woodall, An overview of six sigma, 2008).

Se a variabilidade do processo (centrado) e representado na figura 2.7 diminuir, e se o valor dos Limites de Especificação se mantiver:

- O desvio-padrão diminui;
- A probabilidade de um valor de X (variável aleatória associada à característica da qualidade) ultrapassar os Limites de Especificação diminui, logo diminui o DPMO;
- A distância entre a média do processo e os Limites de Especificação aumenta, logo aumenta o nível Sigma;
- A capacidade do processo aumenta.

No entanto, para calcular o nível Sigma, considera-se usualmente um desvio, a longo prazo, na média do processo, correspondente a 1,5 desvios-padrão, como representado na figura 2.8. Com

esta lógica, um processo com um nível sigma de 6 corresponde a 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (Linderman, 2003).



**Figura 2.8** Representação gráfica de um processo considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média (Montgomery & Woodall, 2008)

A tabela 2.2 explicita a relação entre o intervalo de Especificação e o valor do DPMO. A tabela 2.3 explicita essa mesma relação, considerando o desvio referido na média.

**Tabela 2.2** Correspondência entre o intervalo de Especificação e DPMO (Adaptado de Montgomery & Woodall, 2008)

LE	$P(X > LSE) + P(X < LIE)$ (%)	DPMO
$\pm 1\sigma$	68,27	317300
$\pm 2\sigma$	95,45	45500
$\pm 3\sigma$	99,73	2700
$\pm 4\sigma$	99,9937	63
$\pm 5\sigma$	99,999943	0,57
$\pm 6\sigma$	99,9999998	0,002

**Tabela 2.3** Correspondência entre o intervalo de Especificação e DPMO considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média (Adaptado de Montgomery & Woodall, 2008)

LE	$P(X > LSE) + P(X < LIE)$ (%)	DPMO
$\pm 1\sigma$	30,23	697700
$\pm 2\sigma$	69,13	608700
$\pm 3\sigma$	93,32	66810
$\pm 4\sigma$	99,3790	6210
$\pm 5\sigma$	99,97670	233
$\pm 6\sigma$	99,999660	3,4

### **Outras métricas**

No tópico imediatamente anterior, abordou-se um tipo de métrica (DPMO) com o intuito de conceder uma visão global da relação da Estatística com essa métrica do Seis *Sigma*. Neste, o objetivo é conceder uma visão geral das várias métricas que podem ser utilizadas num projeto

Seis *Sigma*, sendo escolhida de acordo com o âmbito do projeto, que pode incidir num processo, produto ou serviço.

Werkema (2004) faz referência a vários tipos de métricas:

- Métricas baseadas em defeituosos - não levam em consideração o número de defeitos (é igual uma unidade de produto apresentar um ou cem defeitos).
- Métricas baseadas em defeitos – levam em consideração o número de defeitos.
- Métricas baseadas no custo de não qualidade – levam em consideração o custo da não qualidade, exprimindo o impacto financeiro nas empresas.

A tabela 2.4 explicita as métricas associadas a cada tipo, bem como a relação entre elas.

**Tabela 2.4 Métricas do Seis Sigma** (adaptado de Werkema, 2004)

Tipo	Métricas	Fórmulas
<b>Baseada em defeituosos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporção de defeituosos (p)</li> <li>• Rendimento final (Y...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>p = (\text{Número de defeituosos} / \text{Número total de unidades de produto analisadas})</math></li> <li>• <math>Y \dots = 1 - p</math></li> </ul>
<b>Baseadas em defeitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Defeitos por unidade (DPU)</li> <li>• Defeitos por oportunidade (DPO)</li> <li>• Defeitos por milhão de oportunidades</li> <li>• Escala <i>Sigma</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{DPU} = (\text{Número total de defeitos} / \text{Número total de unidades do produto avaliadas})</math></li> <li>• <math>\text{DPO} = [\text{Número de defeitos} / (\text{Número de unidades de produto avaliadas} * \text{Número de oportunidades para defeitos})]</math></li> <li>• <math>\text{DPMO} = \text{DPO} * 10^6</math></li> </ul>

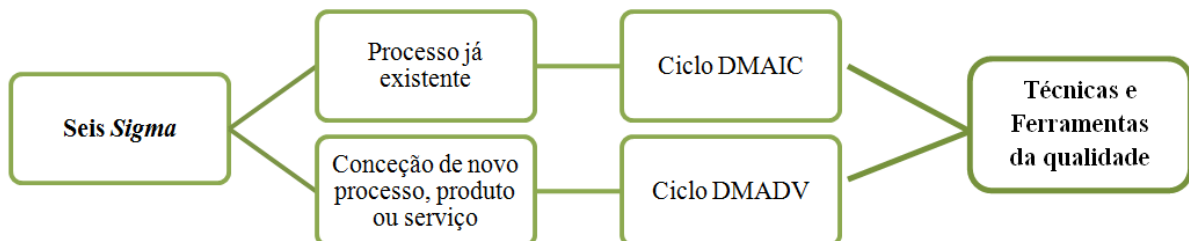
Em relação ao custo da não-qualidade, apresenta-se a tabela 2.5 que faz a correspondência entre o DPMO e o custo da não-qualidade expresso em percentagem da faturação da empresa.

**Tabela 2.5 Correspondência entre DPMO e o custo da não qualidade, considerando um desvio de 1,5 desvios-padrão na média** (adaptado de Werkema, 2004)

LE	DPMO	Custo da não qualidade
2 $\sigma$	308537	Não se aplica
3 $\sigma$	66807	25% a 40%
4 $\sigma$	6210	15% a 25%
5 $\sigma$	233	5% a 15%
6 $\sigma$	3,4	<1%

### 2.3.9 A metodologia Seis Sigma

No dicionário, o termo “metodologia” indica um “caminho ou via para a realização de algo”. No âmbito do Seis Sigma esse “algo” refere-se ao objetivo que se traça no início do projeto. Dependendo do objetivo, existem caminhos a seguir (figura 2.9).

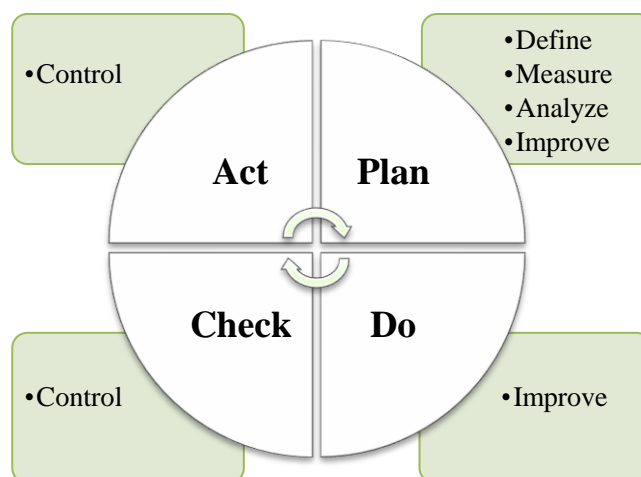


**Figura 2.9 Caminhos do Seis Sigma**

O ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) é um método que tem por base a melhoria contínua de um determinado processo, para que ele atinja um determinado nível de desempenho, através da concretização de várias etapas sequenciais.

### 2.3.10 Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC relaciona-se com o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) e tem como objetivo a sequenciação de etapas para a execução de um projeto Seis Sigma, cada uma compreendendo um objetivo, as sub-etapas a serem concretizadas e as ferramentas e técnicas da qualidade que mais se adequam (Sokovic *et al.*, 2009).



**Figura 2.10 Relação entre o ciclo PDCA e o ciclo DMAIC** (adaptado de Werkema, 2004)

Em relação ao ciclo PDCA, Sokovic *et al.*(2009) definem a lógica subjacente a cada uma das etapas:

1. Plan - Analisar o que precisa de ser melhorado e decidir a base do projeto bem como os objetivos.
2. Do - Implementar as mudanças para atingir o objetivo proposto.
3. Check - Controlar e medir os processos e/ou produtos de acordo com as mudanças realizadas na fase anterior.
4. Act - Adaptação e/ou reação às mudanças executadas ou, se estas não estão sincronizadas com o estabelecido na primeira etapa, voltar a percorrer o ciclo.

Vários autores que abordam a metodologia Seis *Sigma* associam a cada uma das etapas do ciclo DMAIC questões que devem ser respondidas ao longo do projeto, bem como os objetivos a concretizar para ultrapassar as várias sub-etapas do mesmo.

Existem ainda autores que estabelecem um fluxograma para a execução de cada uma das fases, o que não será relevado no presente capítulo porque, no ponto de vista do autor, existe uma variação consoante o projeto em que o DMAIC está inserido, não sendo congruente estabelecer uma estrutura rígida.

Na tabela 2.6 estão agrupadas as atividades não sequenciadas correspondentes a cada fase propostas por Werkema (2004), Pyzdek & Keller (2010) e Cromemyr (2007), bem como algumas ferramentas e técnicas da Qualidade. Realça-se que existem algumas atividades que eventualmente podem não fazer sentido serem executadas num determinado projeto, não existindo um critério rígido para a utilização ou não de determinada ferramenta numa certa fase do projeto. O único pressuposto é que auxilie na concretização dos objetivos de cada uma delas.



**Tabela 2.6 Correspondência entre as fases do ciclo DMAIC e respectivas atividades, objetivos e ferramentas (Adaptado de Werkema, 2006)**

<b>Fase</b>	<b>Atividades/Objetivos</b>	<b>Ferramentas/Técnicas</b>
<b>Definir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir o âmbito, o cronograma e o objetivo (meta quantitativa) do projeto</li> <li>• Atestar a viabilidade do projeto (segundo várias perspectivas: qualidade, financeira, etc)</li> <li>• Constituir a equipa Seis Sigma</li> <li>• Avaliar o histórico do problema, o retorno económico esperado e impacto nos clientes.</li> <li>• Obter autorização dos patrocinadores e averiguar o interesse da gestão de topo</li> <li>• Descrever o processo sob o qual o projeto irá incidir</li> <li>• Avaliar os riscos subjacentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa de raciocínio</li> <li>• Project Charter</li> <li>• Métricas do Seis Sigma</li> <li>• SPC (Controlo Estatístico de processos)</li> <li>• SIPOC</li> <li>• VOC – Voz do Cliente</li> <li>• Mapas de processos</li> </ul>
<b>Medir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar os requisitos/especificações do processo na ótica do consumidor e da empresa</li> <li>• Definir a métrica</li> <li>• Decidir entre usar os dados históricos ou recolher novos dados. No caso da segunda alternativa, estabelecer o plano de recolha dos dados.</li> <li>• Avaliar os Sistemas de Medição</li> <li>• Analisar os dados recolhidos e atestar/</li> <li>• Estabelecer/Atualizar a meta do projeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folha de Verificação</li> <li>• Histogramas</li> <li>• Diagrama de Pareto</li> <li>• SPC (Controlo Estatístico de Processos)</li> <li>• Box Plot</li> <li>• Métricas do Seis Sigma</li> <li>• Análise Multivariada</li> </ul>

**Tabela 2.6 Correspondência entre as fases do ciclo DMAIC e respectivas atividades, objetivos e ferramentas (Continuação)** (Adaptado de Werkema, 2006)

<b>Analisar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar as fontes de variação do processo</li> <li>• Definir, quantificar e priorizar as causas para o problema apresentado</li> <li>• Analisar pormenorizadamente as causas que maior impacto têm no problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxograma</li> <li>• Mapa do process/produto</li> <li>• Histograma</li> <li>• DOE</li> <li>• SPC</li> <li>• Brainstorming</li> <li>• Diagrama de Ishikawa</li> <li>• Diagrama de Afinidades</li> <li>• Diagrama de correlações</li> <li>• Matriz de prioridades</li> <li>• Análise Multicritério</li> <li>• Diagrama de dispersão</li> <li>• Análise de Regressão</li> <li>• Testes de Hipótese</li> <li>• Análise de Variâncias</li> <li>• Análise de Tempos de Falhas</li> </ul>
<b>Melhorar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar técnicas de inovação para gerar soluções para as causas identificadas na fase anterior</li> <li>• Priorizar as soluções potenciais</li> <li>• Testar em pequena escala as soluções selecionadas (realizar teste piloto)</li> <li>• Averiguar o impacto das soluções através da análise dos resultados do teste piloto</li> <li>• Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brainstorming</li> <li>• Diagrama de causa-efeito</li> <li>• Diagrama de Afinidades</li> <li>• Diagrama de Relações</li> <li>• Matriz de Priorização</li> <li>• Análise de Stakeholders</li> <li>• Testes de Mercado</li> <li>• Testes de Hipótese</li> <li>• SPC</li> <li>• 5W2H</li> <li>• Diagrama de Árvore</li> <li>• Diagrama de Gantt</li> <li>• PDPC – Diagrama De Processo Provisório</li> </ul>

**Tabela 2.6 Correspondência entre as fases do ciclo DMAIC e respectivas atividades, objetivos e ferramentas (Continuação) (Adaptado de Werkema, 2006)**

<b>Controlar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualizar a documentação do processo</li> <li>• Monitorizar os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do processo subjacente ao projeto</li> <li>• Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções implementadas</li> <li>• Definir e implementar um plano para controlar a longo prazo as eventuais melhorias verificadas no teste – piloto</li> <li>• Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de Pareto</li> <li>• SPC</li> <li>• Histograma</li> <li>• Métricas do Seis Sigma</li> <li>• Poka-Yoke</li> <li>• Plano para Recolha de Dados</li> <li>• Relatórios de Anomalias</li> </ul>
------------------	--	--

## 2.4 Ferramentas e Técnicas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são um poderoso instrumento para a implementação de um projeto Seis Sigma. Antes da sua seleção para um determinado objetivo, é essencial o conhecimento teórico associado, caso contrário corre-se o risco que ocorra um desperdício de tempo pela utilização ineficaz de uma determinada ferramenta. É portanto de realçar que as ferramentas estatísticas, “nas mãos erradas”, podem ter o efeito contrário ao desejado, ou seja, prejudicar o desenvolvimento do projeto. Hoje em dia existem mais de uma centena de ferramentas e técnicas estatísticas desenvolvidas (Sokovic *et al.*, 2001).

As ferramentas estatísticas também são extremamente importantes no estudo de um processo, nomeadamente para conhecer os parâmetros e a capacidade do mesmo, através da organização da informação que está, regra geral, dispersa e, consequentemente, permite a tomada de decisão em relação às ações a desenvolver (Vieira, 2001).

Ishikawa, na década de 60, fez referência às sete principais ferramentas básicas da qualidade. O adjetivo “básicas” indica que essas sete ferramentas são a base de todas as outras que se desenvolveram, posteriormente, a partir dessas. São elas:

- Fluxograma
- Diagrama de Pareto
- Cartas de Controlo
- Folha de Verificação
- Histograma
- Diagrama de causa-efeito
- Diagrama de dispersão

Para Pereira & Requeijo (2012), estas ferramentas são a sustentação da melhoria contínua, quer associadas a empresas industriais, quer a prestadoras de serviço. Cada fase de resolução de um

determinado problema pode ser ultrapassada através da aplicação dessas ferramentas. As mesmas devem ser de conhecimento geral numa organização, como forma de identificar as oportunidades de melhoria, eliminar atividades sem valor acrescentado e reduzir a variabilidade de produtos e processos.

#### **2.4.1 Project Charter**

O *Project Charter* é um documento formal que funciona como um contrato entre a equipa Seis Sigma e o *Sponsor* do projeto. Como tal, quaisquer mudanças em elementos críticos que visam o mesmo na ferramenta, como o âmbito, os objetivos ou o cronograma, devem apenas ser executadas com o consenso da equipa e dos *Sponsor's* (Pyzdek & Keller, 2010).

Segundo Werkema (2004) e (Pyzdek & Keller, 2010) devem constar no documento os seguintes elementos:

- Nome do projeto;
- Definição da meta a atingir
- Declaração do problema;
- Objetivo do projeto, incluindo a área de negócio a que está associado;
- *Sponsor* e *Stakeholders*
- Equipa de Trabalho
- Duração/agendamento do projeto
- Restrições do projeto

#### **2.4.2 SIPOC**

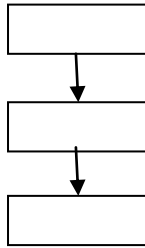
SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*) é uma ferramenta que explicita a relação entre o cliente e a empresa, nomeadamente entre as entidades e objetos que figuram na sigla. Antes da aplicação desta ferramenta, é necessário que os responsáveis do *Marketing* numa empresa identifiquem que produto ou serviço acrescenta valor ao cliente e contribui para o aumento do nível de satisfação do mesmo.

Depois dessa análise, é necessário verificar a capacidade dos fornecedores para entregarem matérias-primas constituintes do produto final (neste caso, incide-se na ótica do produto e não do serviço). A informação recolhida que diz respeito aos fornecedores é transferida para o processo como *inputs*, de acordo com os requisitos do cliente. O processo corresponde a um conjunto de atividades que transforma os *inputs* em *outputs* com o objetivo final de entregar ao cliente. Todas estas fases estão organizadas e resumidas na ferramenta (Yeung, 2009).

Werkema (2004) realça que os detalhes do projeto não devem ser apresentados no SIPOC, uma vez que não são úteis nessa fase do projeto.

Este diagrama foi desenhado originalmente em 1960 e, tal como escrito anteriormente, deve ser integrado em qualquer projeto Seis Sigma, pois permite observar o processo em que o mesmo incide a um nível macro. Na tabela 2.7 está representado um exemplo genérico deste diagrama.

**Tabela 2.7 SIPOC - Caso genérico**

<b><i>Supplier(s)</i></b>	<b><i>Input(s)</i></b>	<b><i>Process</i></b>	<b><i>Output(s)</i></b>	<b><i>Customer(s)</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Supplier 1</i></li> <li>• <i>Supplier 2</i></li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Input 1</i></li> <li>• <i>Input 2</i></li> <li>• ...</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Output 1</i></li> <li>• <i>Output 2</i></li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Customer 1</i></li> <li>• <i>Customer 2</i></li> <li>• ...</li> </ul>

#### **2.4.3. VOC (*Voice Of Consumer*) e CTQ (*Critical To Quality*)**

Estas duas ferramentas são igualmente apropriadas para a fase “definir” mas, agora, no âmbito do ciclo DMAIC. A primeira, VOC, que em português se traduz em “voz do consumidor”, aglomera o conjunto de dados sob os quais se podem aferir conclusões relativamente às necessidades e expectativas do consumidor e às suas perceções em relação aos produtos e/ou serviços prestados por uma determinada empresa. Esses dados podem ser provenientes de reclamações, sugestões, questionários, etc. (Werkema, 2004).

A segunda ferramenta refere-se a características de um produto, processo ou serviço que são críticas para a qualidade, segundo diferentes perspetivas (consumidor final, direção da empresa, gestor do projeto, etc). São estabelecidos os requisitos e especificações dos elementos referidos com base nessas perspetivas (Pyzdek & Keller, 2010).

#### **2.4.4. Mapas de Processo**

O mapa do processo é uma representação gráfica, sequencial e pormenorizada do processo, na qual podem figurar informações operacionais e administrativas das atividades que constituem um processo. Dele podem extrair-se (caso contenham) informações como os agentes envolvidos

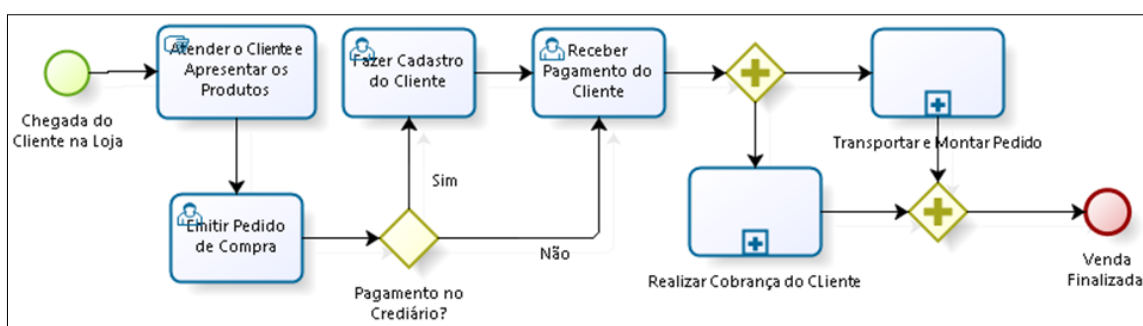
em cada atividade, os custos associados a uma determinada tarefa, os recursos utilizados, o sistema de controlo da qualidade, etc. (Martins, 2013).

É congruente utilizar esta ferramenta na fase “definir” ou “analisar”, com o objetivo de conhecer pormenorizada e sequencialmente o processo em estudo e, através da sua análise, melhorar o nível de satisfação do cliente, melhorar a qualidade de produtos ou serviços, reduzir custos e aumentar o desempenho financeiro da organização (Santos, 2011).

Para (Martins, 2013) as etapas para a construção de um mapa de processo são:

- Definir o processo ou sub-processo que irá ser representado;
- Definir a metodologia e os responsáveis pela sua elaboração;
- Detalhar os *inputs*, as variáveis do processo e os *outputs*
- Identificar aspetos operacionais e administrativos relativos a cada etapa.

Na figura 2.11 está representado um exemplo de um mapa de processo associado a um serviço.








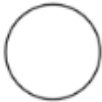
**Figura 2.11 Exemplo de um Mapa de Processo associado a um serviço**

### 2.4.5. Fluxograma

Um fluxograma é uma ferramenta que pode ser utilizada em vários contextos e nas diferentes fases do ciclo DMAIC. O mapa de processo, referido anteriormente, é um exemplo de uma representação utilizando um fluxograma. Permite ilustrar de forma sequencial as diversas etapas até à obtenção de um determinado produto, através de portas lógicas cuja forma é de linguagem universal (Pereira & Requeijo, 2012).

Regra geral, há sempre um processo associado a um fluxograma. Pode ser um processo produtivo ou relacionado com um serviço ou com uma metodologia para executar determinada tarefa. Serve também de suporte para uma tomada de decisão.

Existem vários símbolos que são integrados num fluxograma com um significado conhecido. Os símbolos são ligados através de uma seta cuja orientação indica a direção do fluxo. A figura 2.12 faz referência a alguns deles.

	<b>Processo ou Atividade</b> – Este símbolo serve para representar as atividades de um processo. Se estivermos representando um macroprocesso, este símbolo também serve para representarmos os processos constituintes desse macroprocesso.
	<b>Decisão</b> – Este símbolo representa o fluxo de decisão a ser adotado dentro do processo. Este símbolo admite somente um fluxo de entrada e dois fluxos de saída: um fluxo para o caso da sentença ser verdadeira, outro fluxo para o caso da sentença ser falsa.
	<b>Disco Magnético (Banco de Dados)</b> – Representa o armazenamento ou a consulta de dados a um disco magnético.
	<b>Documento</b> – Símbolo que representa um documento.
	<b>Início / fim</b> – Símbolo que representa o início e o fim do fluxograma.
	<b>Conector</b> – Símbolo usado para a continuação do fluxograma em outra página.

**Figura 2.12 Simbologia de um fluxograma** (Lucinda, 2010)

#### 2.4.6 Brainstorming

O Brainstorming é um método que permite criar ideias, sendo particularmente útil na fase “analisar” e/ou “melhorar” do ciclo DMAIC e é associado a uma utilização coletiva por parte da equipa de trabalho.

Pereira & Requeijo (2012) definem as três fases que, regra geral, estão subjacentes à aplicação desta ferramenta:

- Em primeiro lugar, os membros da equipa apresentam as suas ideias sobre um determinado tema, por exemplo, as causas que estão na origem de um determinado problema;
- Em segundo lugar, procede-se a uma revisão das ideias expostas, eliminando, caso seja apropriado, algumas delas;
- Por fim, procede-se a uma seleção mais criteriosa das ideias e a um agrupamento por prioridades.

A última etapa pode ser concretizada com o auxílio de outra ferramenta da qualidade, como por exemplo o Diagrama de Pareto, que será abordado posteriormente.

Embora esta seja uma ferramenta de utilização coletiva, cabe ao líder do projeto a sequenciação da aplicação desta ferramenta nas seguintes etapas (Werkema, 2004):

- Definir concretamente o objeto sobre o qual será utilizada a ferramenta, focando-se normalmente nas causas de um problema ou respectivas soluções;
- Organizar e registrar as ideias dos vários membros da equipa;
- Moderar a discussão de ideias, incentivando a proporcionalidade das intervenções;
- Organizar e registrar os resultados do *Brainstorming*.

#### **2.4.7 Diagrama de Causa- Efeito**

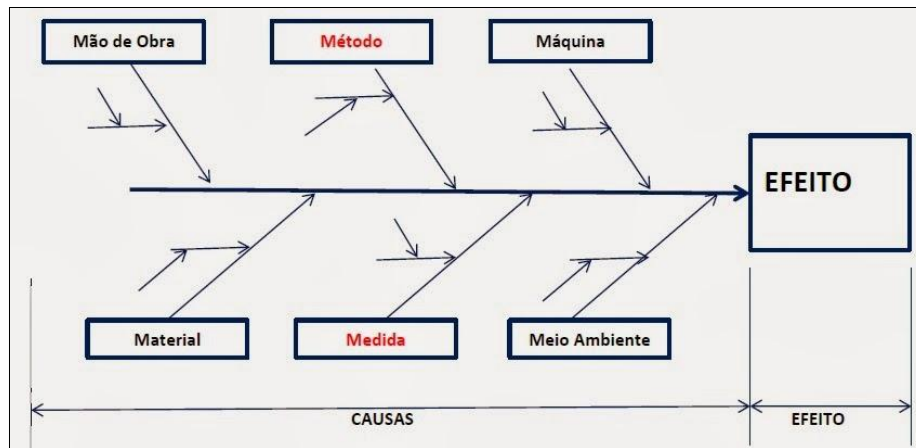
O diagrama de Causa-Efeito, também designado por digrama em Espinha-de-Peixe ou Diagrama de Ishikawa foi desenvolvido por Karou Ishikawa em 1943 (Pereira & Requeijo, 2012). Este diagrama surge muitas vezes na sequência da ferramenta *Brainstorming* (quando este é aplicada com o intuito de averiguar causas que estejam na origem de um determinado problema) com o objetivo de organizar todas as causas esboçadas em diversas categorias, alinhadas em torno de um problema principal (Park, 2003).

Esta ferramenta destina-se a ilustrar esquematicamente a relação entre as causas potenciais para a ocorrência de um determinado efeito que afete um processo. Montgomery (1997) indica as suas principais aplicações:

- Identificação das áreas com problemas, onde é possível a recolha dos dados e a sua posterior análise;
- Representação de todos os fatores que contribuem para o efeito final num processo e as suas relações.

Para a construção do diagrama é necessário, em primeiro lugar, definir claramente o problema, da forma mais específica possível, para não resvalar para a ambiguidade. Posteriormente inserem-se as causas gerais que, na maioria das vezes, se enquadram numa ou numas das que correspondem às seguintes seis categorias: mão-de-obra, métodos, meio, máquinas, materiais e medições. A partir delas, desenham-se as ramificações correspondentes às causas, cuja numeração do correspondente nível é tanto maior, quanto mais detalhada for. Cada categoria pode ser subdividida tantas vezes quantas as necessárias, com o intuito de tornar a natureza do efeito clara (Pereira & Requeijo, 2012).





**Figura 2.13 Exemplo genérico de um Diagrama de Ishikawa**

Na figura 2.13 é possível observar as seis categorias principais, das quais partem ramificações correspondentes às causas de nível um e das quais, por sua vez, partem ramificações de causas de nível dois.

É adequado utilizar esta ferramenta, quando integrada no ciclo DMAIC, na fase “analisar” com o intuito de registrar esquematicamente e de forma organizada as causas subjacentes a um determinado problema.

É ainda importante referir que este diagrama apenas permite uma seleção qualitativa dessas causas, ou seja, nele apenas figuram causas potenciais. Ao longo da fase “analisar” eventualmente utilizar-se-ão outras ferramentas analíticas da qualidade, em que um dos objetivos é aferir se as causas potenciais esboçadas no Diagrama em Espinha-de-Peixe têm real influência no problema a estudar.

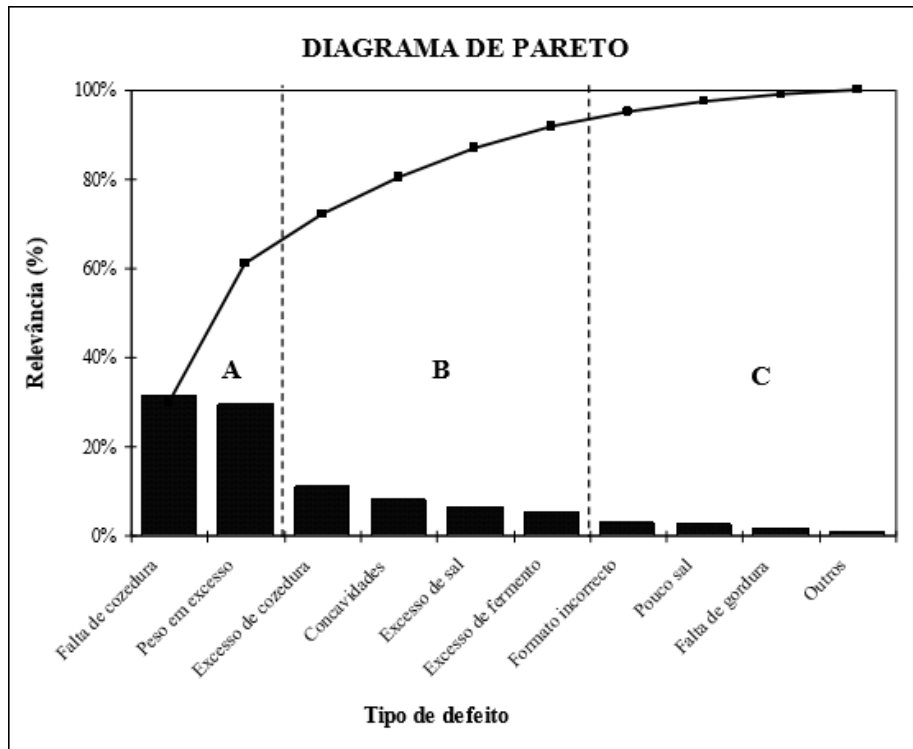
## **2.4.8 Diagrama de Pareto**

Esta ferramenta da Qualidade baseia-se no princípio de Pareto, que considera que 80% dos problemas existentes num processo ou, generalizando, 80% dos efeitos devem-se a 20% dos fatores possíveis de os provocar (Pereira & Requeijo, 2012).

Este diagrama corresponde a uma representação visual das frequência de cada causa referida, permitindo priorizar as que têm um peso maior e, conseqüentemente, evitar o desperdício de capital humano e de tempo aquando a implementação de soluções para minimizar um determinado efeito. De seguida enumeram-se as etapas para a construção do diagrama de Pareto (Pereira & Requeijo, 2012):

- Definir o plano de recolha de dados e executá-lo;
- Categorizar os dados recolhidos e quantificar as categorias;

- Calcular a percentagem relativa de cada categoria;
- Desenhar num gráfico de barras as categorias e as respectivas percentagens relativas, no eixo horizontal e vertical, respetivamente;
- Traçar a curva dos valores acumulados das frequências.



**Figura 2.14 Diagrama de pareto** (www.portalaction.com)

Na figura 2.14 está representado um exemplo de um diagrama de Pareto, aplicando o princípio que refere que, para além de 20% das causas originarem 80% dos problemas (causas “classe A”), 30% das causas originam 15% dos efeitos (causas “classe B”) e que as restantes 50% produzem apenas 5% dos efeitos. Note-se ainda que nesta figura as causas estão categorizadas nas respetivas classes segundo um critério de frequência, ou seja, as causas de classe A são as que ocorrem um maior número de vezes. No entanto, podem ser construídos outros diagramas com outros critérios, consoante seja o contexto em que se está a utilizá-lo. Por exemplo, priorizar as causas, não segundo a sua frequência, mas segundo o seu impacto económico ou segundo o impacto que tem no problema/efeito em estudo (Pereira & Requeijo, 2012).

Esta ferramenta é integrada no ciclo DMAIC, muitas vezes na sequência da aplicação do Diagrama de Ishikawa, com o objetivo de selecionar, entre as causas esboçadas, quais as que vão ser quantitativamente estudadas na fase “analisar”.

## 2.4.9 Diagrama de Dispersão

Esta ferramenta é integrada no ciclo DMAIC geralmente na fase “Analisar”. Tem como objetivo representar visualmente a relação entre duas variáveis, que é quantificada através do coeficiente de correlação linear ou de Pearson ( $r_{XY}$ ).

Sejam X e Y duas variáveis, o coeficiente  $r_{XY}$  é dado por

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n} \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n} \right]}} \quad (2.3)$$

O coeficiente de correlação, quando é aproximadamente igual a 1, indica que existe uma forte correlação positiva, enquanto que quando próximo de -1 indica que existe uma forte correlação negativa. Quando o valor do coeficiente é próximo de 0, então não existe correlação entre as variáveis X e Y (Pereira & Requeijo, 2012).

Na figura 2.15 apresentam-se três gráficos que ilustram os cenários referidos no parágrafo anterior.

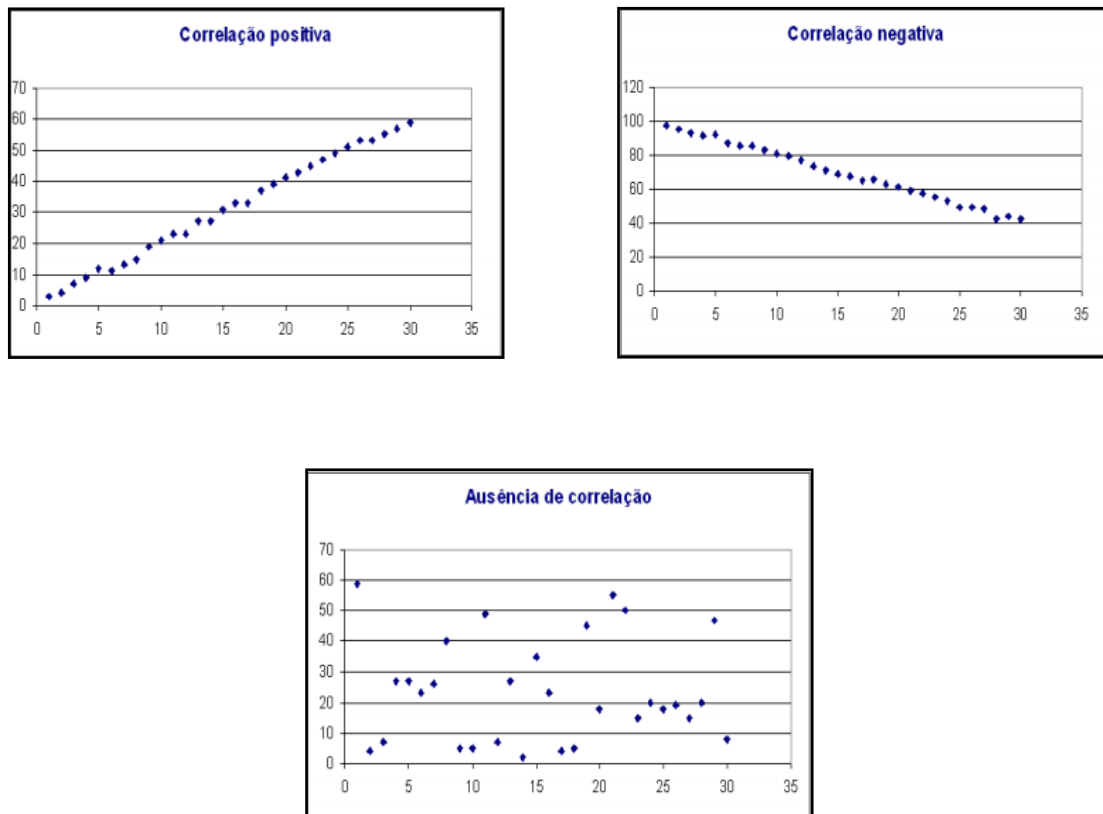


Figura 2.15 Diagramas de correlação indicando, respetivamente, correlação positiva, negativa e nula

A relação entre as variáveis presentes num diagrama de dispersão não explicita nenhum tipo de casualidade entre elas, ou seja, no caso de  $r_{XY}$  aproximadamente igual a 1, pode-se concluir que o valor da variável Y aumenta quando o valor da variável X aumenta, mas é errado advir que o valor da variável Y aumenta porque o valor da variável X aumenta. No entanto, se a correlação entre as variáveis for nula, pode-se concluir com certeza que as variáveis também não têm nenhuma relação de causa-e-efeito (Pereira & Requeijo, 2012).

#### 2.4.10 Testes de Hipótese

O teste de hipótese é um método inserido na área matemática designada inferência estatística, em que a partir dos resultados obtidos de uma amostra, é possível inferir conclusões acerca da população a cuja amostra pertence. Este método testa uma hipótese nula ( $H_0$ ) a qual contém sempre uma igualdade na sua formulação. Assume-se que  $H_0$  é verdadeira durante o teste até haver uma evidência estatística que contradiga essa assunção. Nesse caso, o resultado do teste remeteria para a Hipótese alternativa ( $H_1$ ), que expressa uma desigualdade unilateral ( $>$  ou  $<$ ) ou bilateral ( $\neq$ ) (Pereira & Requeijo, 2012).

Pereira & Requeijo (2012) definem as etapas de realização de um teste de hipóteses:

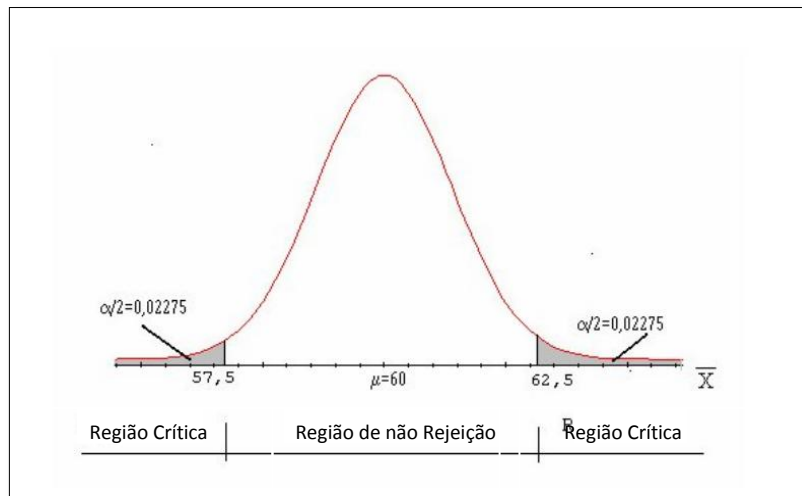
1. Especificar  $H_0$  e  $H_1$
2. Identificar a estatística de teste (E.T.)
3. Selecionar um determinado nível de significância ( $\alpha$ ), que quanto mais pequeno mais fiável é o teste. Ou seja, quanto menor o nível de significância, maior é o nível de confiança de um teste.
4. Definir a regra de decisão, ou seja, a região de rejeição e a região de não rejeição.
5. Retirar aleatoriamente a amostra de uma determinada população, calcular os parâmetros e determinar o valor da E.T.

Existem dois resultados possíveis: ou se rejeita  $H_0$  ou não se rejeita. No caso do segundo, o valor da E.T. tem que estar fora do intervalo de rejeição, para um nível de confiança de  $(100-\alpha) \%$ . Caso contrário, rejeita-se a Hipótese Nula.

Na figura 2.16 está expresso um exemplo de um teste de hipótese bilateral, em que a zona a sombreado representa o intervalo de rejeição ou região crítica, para o qual se rejeita a Hipótese Nula.

Estes testes têm sempre um erro associado que é tanto menor quanto menor for o nível de significância. Existe uma probabilidade de se rejeitar  $H_0$  quando é verdadeira (corresponde a  $\alpha$ )

ou não rejeitar a Hipótese Nula quando ela é falsa (corresponde a  $\beta$ ). Para se aprofundar esta temática pode-se recorrer a Pereira & Requeijo (2012).



**Figure 2.16 Teste de Hipótese Genérico** (www.portaction.com)

### ***Comparação de duas Variâncias de Distribuições Normais e Diferença de duas médias***

Antes de realizar o teste para se comparar as médias de duas populações cujas variâncias são desconhecidas, deve-se testar a partir da respetiva amostra, se as respetivas variâncias não são significativamente diferentes.

Sejam duas distribuições Normais com variâncias  $\sigma_1^2$  e  $\sigma_2^2$ . Para testar a hipótese de elas não serem significativamente diferentes, retiram-se duas amostras de dimensões  $n_1$  e  $n_2$  e determinam-se as respetivas variâncias amostrais  $S_1^2$  e  $S_2^2$ . As hipóteses a testar são formuladas por Pereira & Requeijo (2012):

$$\begin{aligned} H_0 : \sigma_1^2 &= \sigma_2^2 \\ H_1 : \sigma_1^2 &\neq \sigma_2^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

E a Estatística de Teste é definida por

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.5)$$

A hipótese nula é rejeitada se  $F_0 > F_{\alpha/2; (n_1-1) (n_2-1)}$  ou se  $F_0 < F_{(1-\alpha/2); (n_1-1) (n_2-1)}$ .

Depois de conhecer o resultado deste teste, se se pretende testar se duas médias de populações normais ( $\mu_1$  e  $\mu_2$ ) e com variâncias desconhecidas, são significativamente diferentes, deve-se formular as Hipóteses, determinar as médias amostrais  $\bar{X}_1$  e  $\bar{X}_2$  com base nas amostras de

dimensões respectivas  $n_1$  e  $n_2$  e depois calcular a Estatística de Teste de acordo com o resultado do teste da comparação de duas variâncias (Pereira & Requeijo, 2012):

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 - \mu_2 &= \Delta_0 \\ H_1 : \mu_1 - \mu_2 &\neq \Delta_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\bullet \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Se  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ , então a E.T.,  $t_0$ , é definida por

$$t_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_P \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.7)$$

sendo que a hipótese nula é rejeitada quando  $|t_0| > t_{\alpha/2; (n_1+n_2-2)}$ .

$$\bullet \quad \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Se  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ , então a E.T.,  $t_0$ , é definida por

$$t_0 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (2.8)$$

Sendo que a Hipótese nula é rejeitada se  $|t_0| > t_{\alpha/2; \nu}$ , em que

$$\nu = \frac{\left( \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(S_1^2 / n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(S_2^2 / n_2)^2}{n_2 - 1}} \quad (2.9)$$

#### 2.4.11 Desenho de Experiências (DOE) – Dois fatores a vários níveis

O Desenho de Experiências (DOE) é uma técnica que permite identificar quais os fatores que afetam o valor de uma determinada característica e quais os seus melhores níveis consoante os objetivos pretendidos. Enquanto os testes de hipótese são limitativos em relação ao número de amostras, o DOE, utilizando a ANOVA (Análise de Variâncias), consegue separar os diferentes fatores que fazem variar o valor da característica, sendo possível aferir quais deles afetam estatística e significativamente o valor da característica e de que forma (Pyzdek & Keller, 2010).

Neste tópico aborda-se o Desenho de Experiências correspondente a dois fatores a vários níveis e portanto definem-se os seguintes conceitos:

- Fator controlável – uma variável cujo valor possa ser alterado e que tem um efeito na resposta.
- Resposta – característica perante determináveis níveis dos fatores e que se pretende otimizar.
- Nível do fator – são os valores que um determinado fator pode assumir.
- Experiência ou ensaio – um teste no qual se alteram os níveis dos fatores controláveis para determinar o efeito na resposta.

A aplicação do desenho de experiências pressupõe a seguinte metodologia:

- Realização de experiências, previamente selecionando a resposta que se pretende otimizar e os níveis dos fatores controláveis que serão testados;
- Com base nelas, construir a tabela ANOVA e dela aferir quais os fatores que, subjacentes à ANOVA, significativamente afetam a característica;
- Verificar os pressupostos para validar os resultados;
- Interpretar os resultados, nomeadamente quais os níveis dos fatores estudados que otimizam a característica em estudo.

A tabela ANOVA, representada na tabela 2.8 com as respetivas fórmulas, permite verificar se existem diferenças significativas entre os níveis dos fatores A e B e da sua interação AB (neste caso considera-se que existem apenas dois fatores, designados A e B). No fundo esta tabela, aplicada a este contexto, condensa três testes de hipótese, cuja estatística de teste é  $F_0$ , uma variável que segue a distribuição de Fischer e que é comparada com um valor de teste ( $F_{crítico}$ ) que depende do nível de significância do mesmo.

Existem vários métodos empíricos para averiguar quais os melhores níveis dos fatores em estudo, como a observação das tabelas de dupla entrada que indicam a média dos valores da resposta para cada combinação de níveis dos dois fatores, ou a observação dos gráficos de interação ou superfícies de resposta. É importante realçar que antes desta análise é necessário definir se a característica em estudo é do tipo “quanto maior, melhor”, como por exemplo a resistência de um material, do tipo “quanto menor, melhor”, como por exemplo o desgaste de uma máquina ou do tipo “valor nominal”, que pode ser convertida para um dos dois tipos referidos anteriormente.

**Tabela 2.8 Tabela ANOVA** (Gaspar,2015)

Fonte de variação	SS (Soma dos quadrados)	g.l. (graus de liberdade)	MS (Média dos quadrados)	$F_0$	$F_{Crítico}$
A	$\sum_{i=1}^a \frac{Y_{i.}^2}{bn} - \frac{(Y \dots)^2}{abn}$	(a-1)	$\frac{SS_A}{(a-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{Erro}}$	$F_{g.l.A;g.l.Erro;\alpha}$
B	$\sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{an} - \frac{(Y \dots)^2}{abn}$	(b-1)	$\frac{SS_B}{(b-1)}$	$\frac{MS_B}{MS_{Erro}}$	$F_{g.l.B;g.l.Erro;\alpha}$
AB	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{n} - \frac{(Y \dots)^2}{abn} - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	$\frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_{Erro}}$	$F_{g.l.AB;g.l.Erro;\alpha}$
Erro	$SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	(ab)(n-1)	$\frac{SS_{Erro}}{(ab)(n-1)}$		
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{(Y \dots)^2}{abn}$	(abn-1)			

Para validar os pressupostos implícitos no modelo e na ANOVA, deve-se realizar a análise de resíduos. São então três os pressupostos a validar:

- Normalidade, que pode ser realizada através de uma observação empírica da disposição dos resíduos em torno da reta, ou, adicionalmente, realizando o teste de *Kolmogorv-Smirnov*.
- Independência, através da construção do gráfico do valor dos resíduos e a ordem de execução das experiências.
- Homogeneidade da variância, atestada através da observação empírica do gráfico dos resíduos em função dos valores previstos. Adicionalmente, pode fazer-se uma verificação analítica pelo teste de *Barlett*.

Neste capítulo pretendeu-se descrever a filosofia desta ferramenta e, portanto, para os leitores que queiram debruçar-se sobre as expressões e fórmulas estatísticas que concretizam este raciocínio devem consultar as obras de Pyzdek & Keller (2010) e Pereira & Requeijo (2012), especificamente o capítulo 10 e os capítulos 4 e 5, respetivamente.



#### 2.4.12 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de *Kolmogorov - Smirnov* permite aferir se num conjunto a distribuição dos dados recolhidos através de uma amostra se pode ajustar à Função de Distribuição de uma população, como por exemplo a distribuição Normal (Massey, 1951).

Este teste pode realizar-se recorrendo a vários Softwares Estatísticos, como por exemplo o *Statistica*.

#### 2.4.13 Matriz de Prioridades

Esta sequência é integrada no ciclo DMAIC preferencialmente na fase “melhorar” e tem como objetivo priorizar, de entre soluções previamente registadas, aquelas que devem ser implementadas de forma a minimizar o problema apresentado no início do projeto. Esta seleção é realizada segundo vários critérios estabelecidos pelos responsáveis pela tomada de decisão.

Pereira & Requeijo (2012) enumeram os passos para a elaboração desta ferramenta:

- Definir os critérios e atribuir a respetiva ponderação;
- Definir a simbologia a adotar no preenchimento da matriz;
- Avaliar cada opção face aos critérios estabelecidos;
- Preencher a coluna de prioridades com base nos pesos atribuídos, na simbologia adotada e nos critérios definidos;
- Observar e analisar o ranking de soluções evidenciado por esta ferramenta.

Recorre-se a um exemplo genérico em que existem  $n$  soluções possíveis ( $S_1, S_2, \dots, S_m$ ) e  $n$  critérios ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ). Uma possível simbologia a adotar para quantificar a relação entre soluções e critérios, está expressa na tabela 2.9.

**Tabela 2.9 Possível simbologia e respetivo significado** (adaptado de Pereira & Requeijo, 2012)

Simbologia	Significado
1	A mesma importância
5	Mais importante que a alternativa
10	Muito mais importante que a alternativa
1/5	Menos importante que a alternativa
1/10	Muito menos importante que a alternativa

Em primeiro lugar deve-se construir a matriz de prioridade dos critérios.

**Tabela 2.10 Exemplo genérico do preenchimento de uma matriz que compara os critérios**

	$C_A$	$C_B$	(...)	$C_n$	Total	%
$C_A$						
$C_B$						
(...)						
$C_n$						
Total						

Depois, para cada um dos critérios, de forma análoga, determina-se a ponderação (importância) de cada solução. Haverá tantas das seguintes matrizes (matriz da prioridade das soluções para um determinado critério, (tabela 2.11) quantos os critérios considerados.

**Tabela 2.11 Exemplo de uma matriz que compara as diferentes soluções segundo um critério**

<b>Critério:</b> $C_n$	$S_1$	$S_2$	(...)	$S_n$	Total	%
$S_1$						
$S_2$						
(...)						
$S_n$						
Total						

Por fim constrói-se a matriz de prioridades de opções conjugada com a ponderação de cada critério em que se multiplica a ponderação de cada critério pela ponderação da solução segundo esse mesmo critério, resultando na seguinte matriz genérica (tabela 2.12). Desta matriz afere-se o ranking das soluções, ou seja, tendo em vista todos os critérios, quais são as soluções que devem ser implementadas. Note-se que a ferramenta não indica se determinada solução deve ser implementada, apenas explicita a ordem de importância segundo os critérios utilizados.

**Tabela 2.12 Exemplo da matriz que indica o ranking das soluções**

	$C_A$	$C_B$	(...)	$C_n$	Importância
$S_1$					
$S_2$					
(...)					
$S_n$					

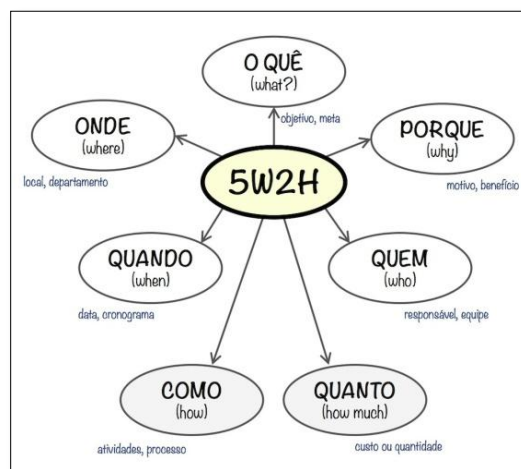
#### 2.4.14 Ferramenta 5W2H

Esta ferramenta é especialmente útil na fase “melhorar” do ciclo DMAIC, uma vez que mapeia e concretiza a implementação de soluções de melhoria para um determinado problema, sistematizando o responsável, o período de tempo, a forma e o local onde serão realizadas. Também deverá figurar na tabela o custo dessas atividades (Periard, 2009).

Segundo Periard (2009), existem aspetos importantes para a aplicação desta ferramenta:

- Estar ciente de que as atividades de melhoria subjacentes remetem para soluções sobre a causa e não sobre o efeito;
- Analisar os possíveis efeitos colaterais que determinada medida de melhoria possa provocar, e avaliar se é pertinente implementá-la;
- É importante averiguar com a máxima exatidão possível os orçamentos das medidas para a realização das atividades de melhoria.

O nome desta ferramenta fornece uma indicação clara acerca do seu propósito, que está ilustrado na figura 2.17.



**Figura 2.17 Ferramenta 5W2H**  
(www.portalaction.com)

#### 2.4.15 SPC – Controlo Estatístico de Processos

Juran & Gryna (1993) definem o Controlo Estatístico de Processos como a aplicação de um conjunto de técnicas Estatísticas, em especial das designadas Cartas de Controlo, que medem e analisam os parâmetros dos processos.

Para Pereira & Requeijo (2012), o SPC permite, através das Cartas de Controlo, reduzir a variabilidade de um processo e determinar, através de inferência estatística, se este é capaz de produzir a partir das especificações pré definidas.

### ***Cartas de Controlo – Breve introdução***

Em 1924, o matemático Walter Shewhart introduziu o Controlo Estatístico dos Processos, através de cartas de controlo tradicionais. Existem diversos tipos de cartas tradicionais, para variáveis contínuas:

- Cartas da média e amplitude;
- Cartas da média e desvio-padrão;
- Cartas da média e da variância;
- Cartas da mediana e amplitude;
- Cartas das observações individuais e amplitudes móveis.

Subjacente à utilização das cartas, está sempre uma variável aleatória que quantifica uma determinada característica. No caso das cartas referidas, essa variável é contínua, mas existem também as cartas referentes aos atributos, que permitem o controlo da proporção e do número de unidades não conformes, bem como as cartas de controlo do número de defeitos e do número de defeitos por unidade de produto (Pereira & Requeijo, 2012). Existem ainda outro tipo de cartas que aparecem na sequência do trabalho desenvolvido por Shewhart, como as cartas para detetar alterações pequenas ou moderadas dos parâmetros dos processos, designadas *Carta de Somas Acumuladas* (CUSUM) e *Carta da Média Móvel Exponencialmente Amortecida* (EWMA), as designadas *short-runs*, aplicadas a pequenas produções e as multivariadas, em que se estuda diferentes características simultaneamente.

Uma carta de controlo, numa definição genérica, trata-se de um gráfico que representa os valores de uma determinada estatística. Possui uma linha central (LC) que representa o valor nominal da estatística (idealmente, todas as unidades teriam este valor). Em termos de parâmetros de processo, este valor corresponde à média do mesmo. Os limites de controlo superior e inferior (LSC e LIC), correspondem ao intervalo de 3 desvios-padrão acima e abaixo da LC.

Existem pressupostos importantes para a aplicação desta ferramenta aos processos: um deles é que os mesmos sejam estacionários, outro é que os dados sejam independentes e recolhidos de uma população com uma Distribuição normal.

### ***Causas comuns e causas especiais de variação***

Todos os processos estão sujeitos a fontes de variação, que fazem com que as unidades produzidas não apresentem o mesmo valor. Existem fontes de variação instantâneas, ou sejam, que se verificam em unidades consecutivas e existem aquelas que se manifestam a médio e longo prazo. Um processo é designado “sob controlo estatístico” se não existirem causas especiais de variação.

Pereira & Requeijo (2012) distinguem os dois tipos de causas de variação:

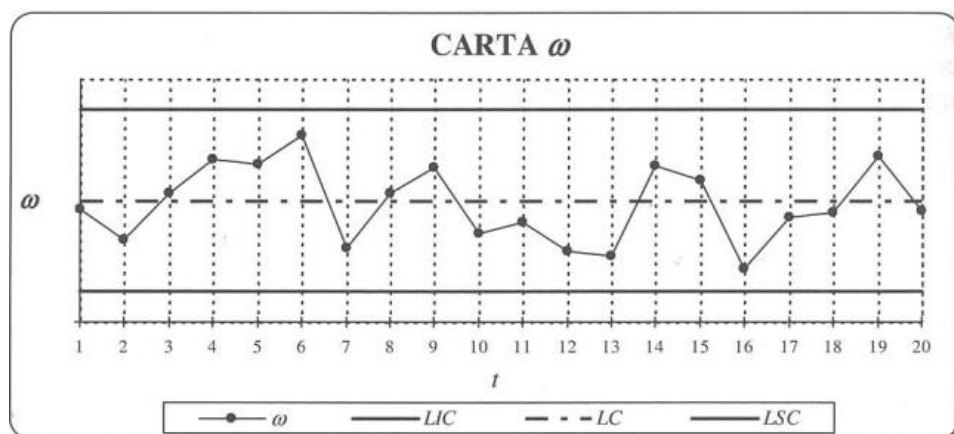
- Causas comuns – são causas aleatórias e sistemáticas, porque é utópico um processo produzir unidades exatamente iguais, qualquer que ele seja. No entanto, se apenas existirem causas comuns de variação, as unidades seguem um certo padrão que pode ser englobado numa determinada população que siga, neste caso, uma distribuição Normal, com os parâmetros correspondentes (média e desvio-padrão).
- Causas especiais - como o nome indica, são causas que implicam que as unidades produzidas por um processo se desviem de uma distribuição de probabilidades e normalmente estão associadas a um erro esporádico e não repetitivo, mais complexo que o anterior e que provoca variações superiores.

Enquanto as causas comuns geram um “ruído” aceitável em termos de desempenho do processo, já as causas especiais fazem com que o processo deixe de estar “sob controlo estatístico” (Montgomery, 1997).

É de realçar que a distinção feita entre causas de variação se baseia no impacto no desempenho do processo e não na origem dessa fonte de variação Pereira & Requeijo (2012), à parte da distinção feita anteriormente, também diferenciam os fatores que possam estar na origem de qualquer causa de variação. São eles o equipamento, a matéria-prima, a mão-de-obra, o meio-ambiente, os métodos e a metrologia.

### ***Princípios Estatísticos das Cartas de Controlo e Regras de deteção de causas especiais***

Na figura 2.18 está representada uma carta genérica de uma variável designada por  $\omega$ . Nela estão indicadas as observações, o Limite Central e os Limites de controlo superior e inferior. Os princípios da distribuição normal, abordados anteriormente, estão presentes nesta construção.



**Figura 2.18 Carta controle de uma variável aleatória genérica** ( Pereira & Requeijo, 2012)

A aplicação das regras de detecção das causas especiais publicadas ao longo dos anos em diferentes obras não diferem substancialmente entre si. As seguintes (representadas visualmente na figura 2.19, em que as zonas A,B e C têm o comprimento de  $1\sigma_{\omega}$ ) regem-se pela obra de Pereira & Requeijo (2012), a qual por sua vez estão incluídas na norma ISO 7870-2:2013:

1. Um ponto fora dos Limites de Controle. Este é o critério básico de detecção de causas especiais. Os seguintes têm como objetivo aumentar a sensibilidade das cartas tradicionais de Shewhart, para a detecção de padrões não aleatórios.
2. Nove pontos consecutivos na zona C ou, para além da zona C, do mesmo lado do LC.
3. Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente.
4. Catorze pontos consecutivos crescendo ou decrescendo alternadamente.
5. Dois de três pontos consecutivos na zona A, ou para além desta zona, do mesmo lado do LC.
6. Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, ou além destas zonas, do mesmo lado da linha central.
7. Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo do LC.
8. Oito pontos consecutivos de ambos os lados do LC, sem nenhum na zona C.



**Figura 2.19** Regras para a detecção de padrões não aleatórios (Pereira & Requeijo, 2012)

### *Fase 1 das Cartas de Controle*

Neste subcapítulo, faz-se referência à metodologia genérica da fase 1 das cartas de controle e à situação específica das cartas da média e do desvio-padrão.

A Fase 1 tem como objetivos:

- Estimar os parâmetros do processo (média e desvio-padrão)
- Analisar a capacidade do processo

Pereira & Requeijo (2012) enunciam as etapas para a construção das cartas de controle na Fase um:

- Selecionar a característica da qualidade;
- Definir a dimensão da amostra, a frequência da amostragem, o equipamento de medição e o método de medição;
- Selecionar o tipo de carta de acordo com o contexto.
- Recolher m amostras de dimensão n, num total de  $N=m \times n$  observações, em que  $N > 100$
- Determinar os limites de controle e a linha central.
- Verificar a existência de causas especiais de variação, através das regras referidas;
- Eliminar, se for caso disso, os pontos que evidenciam a existência de causas especiais de variação;
- Calcular novamente os limites e a linha central.
- Repetir os dois processos anteriores até o processo estar sob controle estatístico.
- Construir a carta de controle revista.

- Estimar os parâmetros do processo através de dois estimadores pontuais (expressões 2.17 e 2.18).

Na carta da média, os Limites de Controlo e a Linha Central são:

$$LC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} \quad (2.10)$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} \quad (2.11)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} \quad (2.12)$$

em que  $A_3$  e  $c_4$  só dependem da dimensão da amostra.

Na carta do desvio-padrão, os Limites de Controlo e a Linha Central são:

$$LC_S = \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m} \quad (2.13)$$

$$LSC_S = B_4 \bar{S} \quad (2.14)$$

$$LIC_S = \bar{S} - B_4 \bar{S} \quad (2.15)$$

em que

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X}_i)^2}{n-1}} \quad (2.16)$$

e as constantes  $c_4$ ,  $B_3$  e  $B_4$  dependem apenas da dimensão da amostra.

Os parâmetros do processo são estimados a partir das seguintes expressões:

$$\mu = \bar{\bar{X}} \quad (2.17)$$

$$\sigma = \frac{\bar{S}}{c_4} \quad (2.18)$$



### ***Capacidade do processo***

Para um processo ter capacidade, este tem que produzir as unidades dentro dos Limites de Especificação Superior e inferior (LSE e LIE), no caso da especificação ser bilateral, ou apenas de um deles, no caso da especificação ser unilateral (Montgomery, 1997).

Se o processo se encontrar sob controlo estatístico e os dados seguirem uma distribuição normal, assume-se que a variação do processo é igual a  $6\sigma$  e é possível, através do índices de capacidade, medir o desempenho do processo. Este procedimento é realizado no final da fase 1. No caso de especificações bilaterais, tem-se que

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.19)$$

e

$$C_{pk} = \min(C_{(pk)i}; C_{(pk)s}) \quad (2.20)$$

em que

$$C_{(pk)i} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.21)$$

$$C_{(pk)s} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (2.22)$$

O índice de capacidade  $C_p$ , designado índice de capacidade potencial, aplica-se a processos cuja especificação é bilateral e deve apresentar um valor superior a 1,33, para que o processo tenha capacidade, o que significa que a amplitude do processo tem de estar contida na amplitude da especificação.

No entanto, o processo pode ter capacidade potencial, mas produzir unidades não conformes. Para isso existe o índice de capacidade  $C_{pk}$ , que considera não só a dispersão, mas também a média. Para uma especificação unilateral, este índice deve ser maior que 1,25 para considerar o processo capaz, e no caso de uma especificação bilateral o processo será capaz se este índice apresentar um valor superior a 1,33. Contudo, quanto maior forem os valores de todos os índices referidos, mais qualidade tem o processo (Pereira & Requeijo, 2012).

### ***Fase 2 das Cartas de Controlo***

A Fase 2 das cartas de controlo tem como objetivo monitorizar o processo e pressupõe que a Fase 1 e o cálculo da capacidade do processo tenham sido concluídos com sucesso.

Pereira & Requeijo (2012) enunciam as etapas para a concretização desta fase:

- Representar no gráfico a linha central e os limites de controlo estimados na Fase 1;
- Recolher, segundo uma dada frequência, uma amostra com a dimensão definida e registar a estatística respetiva na carta de controlo;
- Verificar se esse valor corresponde a uma causa especial de variação.

Se existir uma causa especial de variação, deve-se, em primeiro lugar, averiguar se se trata de um falso alarme. Em caso negativo, deve-se identificar a causa e implementar ações corretivas. Este processo pode ser bastante complexo e em norma exige a aplicação de outras metodologias e ferramentas.

É importante diferenciar duas ações: corrigir o processo e alterar o processo. A primeira pressupõe ajustar tecnicamente determinado equipamento, máquina ou qualquer outro elemento que esteja ligado ao processo em estudo, para que os parâmetros do mesmo apresentem os valores determinados na Fase 1. Quando se trata de alterar o processo, por norma está associado a uma falta de capacidade, quer no fim da fase 1, quer ao longo da Fase 2. Alterar o processo significa que os valores dos parâmetros calculados na fase 1 não permitem que o processo produza de acordo com as especificações e, por consequência, o ajustamento do processo deve ser feito de modo a que os parâmetros do mesmo permitam que ele produza com capacidade.



### **3. Caracterização da Empresa**

#### **3.1 Grupo Sumol+Compal**

##### **3.1.1. Breve descrição**

A Sumol+Compal é uma empresa produtora de néctares, refrigerantes com e sem gás, sumos, bebidas de fruta sem gás e águas com e sem gás, incluindo as aromatizadas, vegetais e derivados tomate.

A sua visão é “Trabalhar os frutos, os vegetais e a água como fontes incontornáveis de nutrição, hidratação, saúde e prazer é um desafio permanente e inspirador. Ambiciona seduzir os consumidores pela excelência do sabor e pela ciência e arte com que constrói marcas únicas, contribuindo para o bem-estar.”

A sua missão visa consolidar a posição de uma empresa de referência internacional em bebidas de fruta e de vegetais, bem como preservar a liderança nas bebidas não alcoólicas e desenvolver a melhor rede de distribuição ao canal *Horeca* em Portugal e alcançar posições de destaque em vegetais preparados em alguns mercados.

As suas aspirações centram-se em três aspetos:

- Ser uma empresa de referência internacional em bebidas de frutos e de vegetais;
- Liderar os mercados de bebidas de frutos e de vegetais em Portugal, Angola, Moçambique e África francófona;
- Vender mais de 450 M€ em 2018 com uma margem de EBITDA superior a 14%.

##### **3.1.2 História**

A Sumol+ Compal resultou da fusão entre duas empresas: a Sumolis e a Compal. A Sumolis nasceu em 1945, numa pequena empresa denominada Refrigor, e a Compal em 1952. O processo de união começou a ser trabalhado em finais do ano de 2005, quando a Sumolis e o Grupo Caixa Geral de Depósitos (CGD) anunciaram a aquisição à Nutrinveste da Compal e da Nutricafés. Esta última foi excluída em 2006.

Em 2008, a Sumolis e o Grupo CGD acordaram formalmente as condições que deram origem à Sumol+Compal, não tendo tido oposição da Autoridade da Concorrência. No início de 2009 deu-se a conclusão da preparação e implementação do novo projeto, sendo este o ano oficial de arranque da nova empresa.

### **3.1.3 Ramos de negócio**

São duas as principais atividades do grupo: produção e distribuição. Existem artigos que abrangem os dois ramos, mas também específicos de uma destas áreas. A produção refere-se ao enchimento, quer dos produtos líquidos, quer dos sólidos.

Em relação aos líquidos, a matéria-prima de fruta do processo de enchimento pode ser proveniente de concentrados importados, bem como de fruta transformada pela própria empresa. Essa transformação é realizada sazonalmente, entre os meses de Julho a Dezembro, produzindo polpas de frutas como pêssago, pêra-rocha, maçã, maçã das beiras, cenoura e ameixa. No que diz respeito aos derivados de tomate, os concentrados também são produzidos internamente.

### **3.1.4 Infraestruturas**

A Sumol + Compal possui atualmente seis centros de produção da marca: quatro em Portugal, um em Angola e um em Moçambique. O de Almeirim, onde foi efetuada a presente dissertação, o de Pombal, Vila Flor e Cabeça do velho, correspondem às unidades fabris nacionais. Contém dez centros de distribuição espalhados de norte a sul do país e dois escritórios, um em Carnaxide e outro em Moçambique.

A unidade fabril de Pombal tem 10 linhas de enchimento e o correspondente volume de produção respeitante aos refrigerantes e cervejas ultrapassa os 200 milhões de litros por ano. Na unidade fabril de Gouveia está instalada a Sasel, Sociedade de Águas da Serra da Estrela, S.A., que é uma empresa do grupo que enche a água de nascente “Serra da Estrela”. A mesma está localizada junto à nascente Fonte da Vidoeira, na Cabeça do Velho. A Unidade fabril de Vila Flor situa-se em Trás-os-Montes e ocupa-se da produção de pré-embalados da marca Frise. A unidade fabril de Boane, em Moçambique, foi inaugurada em 2013 e possui 3 linhas de enchimento, numa área fabril total de 5000 m<sup>2</sup>. A unidade fabril de Bom Jesus, em território Angolano, foi a última a ser construída, tendo a inauguração ocorrido em Julho de 2015.

### **3.1.5. Estrutura funcional da Sumol+Compal**

O grupo divide-se em três grandes áreas: Negócio, Operações e Suportes.

O Negócio, compreende questões relacionadas com o posicionamento e estratégia das unidades dos diversos países onde o grupo atua, bem como a inovação. As operações, que dizem respeito aos vários departamentos onde estão incluídas, entre outras, a área Industrial na qual se fabricam os produtos de várias marcas internas e externas, o departamento de desenvolvimento, garantia da qualidade e segurança alimentar, e o departamento de aprovisionamento de matérias-primas de fruta. É nesta área que a presente dissertação irá incidir. Por fim, na área de Suportes estão

centralizados serviços como o departamento de Recursos Humanos (Pessoas, Comunicação e Sustentabilidade), a Área Financeira, os Sistemas de Informação e a Área das Compras.

### **3.1.6 Marcas**

Nas seis unidades fabris efetua-se o enchimento das seguintes marcas pertencentes à empresa:

- Sumol
- Compal
- B!
- Águas Serra da Estrela
- Um bongo
- Frize
- GUD
- Citro

Em relação aos sólidos, produz-se os seguintes alimentos da marca Sumol+Compal:

- Cogumelos
- Feijão
- Ervilhas
- Grão
- Polpa de tomate

Para além disto, a empresa é responsável pelo enchimento e/ou distribuição de outras marcas não pertencentes ao grupo:

- Pepsi
- 7up
- Guaraná
- Cerveja Estrela Damm
- Lipton
- Gallo
- Cacaolat

Excluindo os artigos que não pertencem ao grupo, contabiliza-se um número que ronda os duzentos e cinquenta.

## **3.2 Unidade fabril de Almeirim**

### **3.2.1 Breve descrição**

A unidade Fabril de Almeirim, localizada na Estrada Nacional 118, é responsável pelo maior volume de produção em comparação com as outras fábricas da empresa. Enche todos os artigos da marca *Compal* (líquidos e sólidos), *B!*, *Um Bongo*, bem como os associados à marca *Lipton* e polpas de fruta e de tomate.

Esta unidade sofreu um grande processo de modernização, através de um projeto iniciado em 1998 e que culminou no dia 7 de Julho de 2003 com a inauguração oficial. Estima-se um investimento de valor superior a 43 milhões de euros que permitiu comprar novas máquinas, criar e melhorar instalações, o que se repercutiu numa maior capacidade de produção, num controlo de qualidade e segurança mais eficazes e certificados e numa maior ergonomia para todos os trabalhadores da empresa. Em termos de capacidade, esta transformação traduz-se em 40000 m<sup>2</sup> de área coberta e uma produção anual que tem condições para atingir as 250000 toneladas, sendo que a média, atualmente, se situa em 160000 toneladas.

O número de trabalhadores empregados nesta unidade ronda os quinhentos e a mesma conta atualmente com 18 linhas de produção:

- 8 Linhas de enchimento de embalagens asséticas de cartão
- 2 Linhas de enchimento de embalagens asséticas de Pet
- 3 Linhas de enchimento de embalagens de vidro
- 1 Linha de enchimento de vegetais em lata
- 2 Linhas de transformação de fruta
- 1 Linha de transformação de tomate em concentrado
- 1 Linha de enchimento de bisnagas de concentrado de tomate

### **3.2.2 Estrutura organizacional da Unidade Fabril de Almeirim**

Na figura 3.1. observa-se, geograficamente, a organização da Unidade Fabril.

A mesma tem duas grandes fábricas: a Fábrica dos Líquidos e a Fábrica dos Sólidos. As outras áreas são: a Área Técnica, que corresponde ao Departamento de Desenvolvimento, Garantia da Qualidade e Segurança alimentar; a Manutenção, onde são realizadas manutenções corretivas e planeado o sistema de manutenções preventivas de todas as máquinas e materiais industriais; o Armazém Fabril, onde se receciona as matérias-primas necessárias à produção, bem como a sua gestão e armazenamento; o Armazém Comercial, local onde se armazena as unidades de produto acabado antes de prosseguirem na cadeia de abastecimento; a Área Administrativa, onde se situam os escritórios da Direção Fabril, Recursos Humanos e Aprovisionamento; o

Parque das Polpas, onde se encontram os bidons que contêm as polpas produzidas na época da campanha da fruta.



**Figura 3.1 Perspetiva global da Unidade Fabril de Almeirim** ([www.sumolcompal.pt](http://www.sumolcompal.pt))

A mesma tem duas grandes fábricas: a Fábrica dos Líquidos e a Fábrica dos Sólidos. As outras áreas são: a Área Técnica, que corresponde ao Departamento de Desenvolvimento, Garantia da Qualidade e Segurança alimentar; a Manutenção, onde são realizadas manutenções corretivas e planeado o sistema de manutenções preventivas de todas as máquinas e materiais industriais; o Armazém Fabril, onde se receciona as matérias-primas necessárias à produção, bem como a sua gestão e armazenamento; o Armazém Comercial, local onde se armazena as unidades de produto acabado antes de prosseguirem na cadeia de abastecimento; a Área Administrativa, onde se situam os escritórios da Direção Fabril, Recursos Humanos e Aprovisionamento; o Parque das Polpas, onde se encontram os bidons que contêm as polpas produzidas na época da campanha da fruta.

No contexto presente, as áreas mais relevantes são a Fábrica de Líquidos, especificamente as linhas de enchimento em formato de cartão e a Área Técnica.

### ***Desenvolvimento do produto***

Este departamento integra a Área Técnica e é um dos pilares estratégicos da empresa, visto ser no mesmo que é concretizada a inovação. A título de exemplo, se o departamento de Marketing idealizar um novo produto com determinadas características, é na área de Desenvolvimento do Produto que o mesmo é criado, testado e formalizado para posterior produção em massa.

Neste departamento, existe uma zona onde se realizam as análises sensoriais, onde um painel de provadores constituídos por membros da empresa, submetidos anteriormente a testes que



asseguram a competência para essa desempenhar essa função, garantem que os produtos cumprem os requisitos de cor, textura, sabor, aspeto, doçura, espessura e amora. O Desenvolvimento de Embalagens também se concretiza neste local.

Para além destas funções, esta área também é responsável por garantir que todos os requisitos legais aplicáveis ao produto são cumpridos, por avaliar o comportamento dos produtos ao longo da sua *shelflif*, por aprovar fornecedores de matérias-primas e por acompanhar as novas tecnologias emergentes, bem como pela otimização das condições dos processos atuais.

### ***Segurança Alimentar***

A área de S.A. é constituída por uma equipa central, cujos membros pertencem a diversas unidades fabris. Periodicamente, acontece uma reunião com o objetivo de abordar assuntos transversais e estabelecer condutas e regras uniformes nas várias unidades. Na fábrica de Almeirim, existe uma equipa multidisciplinar que é responsável pela revisão dos planos HACCP, pela conjugação desses mesmos planos à rotina fabril, estando atentos a eventuais mudanças que impliquem uma mudança de parâmetros de avaliação ou ao aparecimento de novas linhas, produtos ou máquinas.

Uma das funções específicas deste departamento é o preenchimento de uma *checklist* composta por vários parâmetros e requisitos, desde a localização da fábrica, infraestruturas e instalações, higiene pessoal dos operadores, controlo de pragas, gestão de resíduos, emissões gasosas e efluentes líquidos e higienizações, limpezas e lubrificação dos equipamentos. Esta *checklist* é posteriormente analisada e avaliada e, no seguimento, são realizadas eventuais correções e melhorias.

Para além disto, este departamento é responsável pelo plano de *food defense*, pela rastreabilidade do plano BRC, pelo acompanhamento de auditorias internas e pela execução de auditorias a fornecedores.

Todos os colaboradores recebem formação na área de S.A, as quais têm o principal propósito de atestar a importância da higiene pessoal e dos equipamentos e utensílios que utilizam

A fábrica de Almeirim é certificada pela norma ISO 9001:2008 (sistemas de gestão da qualidade) e pelo referencial britânico BRC (Brithis Retail Consortium), uma certificação de sistemas de gestão da segurança alimentar, específico para a Unidade de Mercado de Inglaterra.

### ***Garantia da Qualidade***

O departamento da Garantia da Qualidade (GQ) é responsável pela coordenação de todas as atividades de Gestão e Controlo da Qualidade ao longo de todas as fases de produção. Este departamento está dividido em três laboratórios: o Laboratório de Apoio à Produção, o Laboratório de Microbiologia e o Laboratório de Controlo de Embalagens. Neste departamento,

para além de outras funções, são verificados, analisados e controlados vários parâmetros, quer respeitantes ao processo, ao produto acabado, aos materiais e matérias-primas, entre os quais o peso ou volume de enchimento, que irá ser o foco do caso de estudo. Também é da responsabilidade deste departamento a análise de não-conformidades, que dizem respeito quer a reclamações recebidas do cliente, quer a reclamações enviadas da parte da empresa para, a título de exemplo, um fornecedor, devido a uma eventual não conformidade de uma matéria-prima. Em relação ao controlo de produto acabado, em caso de não conformidade, está implementado um sistema eficaz de rastreabilidade que permite detetar rapidamente o lote correspondente e evitar que produto não conforme chegue ao cliente.

#### **a) Laboratório de Apoio à Produção**

Neste local são controlados vários parâmetros correspondentes à qualidade do produto acabado, semiacabado e matérias-primas, como o peso líquido (utilizando cartas de controlo), a densidade, a viscosidade, a temperatura (no interior das embalagens e a de pasteurização), acidez, pH, características orgânicas e vácuo.

Produto semiacabado refere-se ao sumo que é formulado antes de ser enchido. A análise feita ao mesmo pressupõe eventuais ajustes necessários em caso de não conformidade, assegurando, assim, quando se realiza o enchimento, o produto cumpre todos os requisitos. Realça-se que o processo de enchimento só pode ser realizado após o aval por parte deste laboratório.

#### **b) Laboratório de Microbiologia**

Este laboratório é responsável pela análise microbiológica de todos os lotes, assegurando que todos os produtos que saem para o mercado estão conforme a nível microbiológico. Quer para produtos líquidos, quer para sólidos, procede-se à contagem de mesófilos e de bolores e leveduras.

Também é realizada uma análise microbiológica das águas de enxaguamento, das águas de processo e das águas de pasteurização. Para todas estas análises são utilizadas técnicas de microbiologia clássica que pressupõe incubação.

#### **c) Laboratório de Controlo de Embalagens**

Neste local são realizados testes, com uma periodicidade de quatro horas, a partir de amostras correspondentes às embalagens de cartão, para a realização de testes de estanquicidade e opacidade. Para além disto, também é da responsabilidade deste laboratório a análise da cravação das latas dos vegetais e das bisnagas de polpa de tomate, bem como pela organização da reserva, local onde são armazenadas amostras de cada lote até o mesmo exceder o prazo de validade, para um eficaz sistema de rastreabilidade.

### 3.2.3 Controlo da qualidade no *Accept*

O *Accept* é um sistema informático que computoriza o Controlo Estatístico de todos os processos de enchimento da Unidade Fabril de Almeirim (sólidos e líquidos), sendo que a característica analisada é o peso do produto acabado. Este sistema foi implementado no ano de 2002.

Antes desse ano, o Controlo Estatístico era feito através de cartas controlo manuais, onde os operadores desenhavam as cartas, pesavam o produto e registavam os resultados nessa folha. Este procedimento de registo era pouco eficaz e eficiente, pois não era realizado corretamente devido a falta de formação. A análise das cartas, por consequência, era bastante imperfeita, também devido à falta de formação. Em suma, a relevância dada a este controlo era quase nulo. Quando o *Software* foi implementado, procedeu-se a várias formações, para preparar os operadores e instruí-los acerca da importância deste controlo. Com um eficaz registo, a análise passou a ser feita por colaboradores com conhecimentos sobre a temática o que melhorou consideravelmente a eficiência deste estudo.

Em 2016 deu-se a reformulação do mesmo, a qual contou com algumas mudanças, entre elas as interfaces do *Accept*, na tentativa de uma simbiose entre simplificação e eficácia, para facilitar a interpretação e utilização dos utilizadores deste Software.

Sempre que um novo processo surge, ele é imediatamente inserido no Software para ser sujeito ao Controlo Estatístico.

**Figura 3.2 Configuração de um processo no *Accept***

Para configurar um processo, novo ou existente, é esta a interface a utilizar. Na mesma é possível assinalar quais os produtos envolvidos no processo, registar as respetivas taras, tecer eventuais observações, ativar alertas respeitantes aos limites legais, definir aspetos da

visualização das cartas e da aquisição de dados (linha, balança, tipo de pesagem e tipo de controlo).

Quando acontece uma auditoria, no que diz respeito ao controlo legal dos valores dos volumes de enchimento, é apresentado à entidade auditora um relatório de um determinado lote por eles definido. Para além disso, todos os anos, a empresa Aferymed, reconhecida pelo IPQ como Organismo de Verificação Metrológica de Pré-embalados, também procede à análise e avaliação do Sistema de Controlo Estatístico instalado na empresa, bem como dos registos resultantes do controlo dos processos.

Nesse relatório figura o total de pesagens, a média amostral do lote, o desvio-padrão amostral médio e a verificação dos limites individuais legais.

# Relatório de Lote

Empresa: Sumol-Compal

Centro: Estrada Nacional 118

Produto: Compal Clás Néç Pêssego 9x3 TET 0,20L

QN: 200,00

Lote: 361572

## Amostras

Operador: M.Pires-João					17/03/2016 13:16:19
Tara	M. Bruta	M. Líquida	Densidade	V. Líquido	
8,70	218,50	209,80	1,0460	200,57	
8,70	218,70	210,00	1,0460	200,76	
8,70	217,90	209,20	1,0460	200,00	
8,70	218,50	209,80	1,0460	200,57	
Média: 200,47 Amplitude: 0,76 Desvio Padrão: 0,33					
Operador: M.Pires-João					17/03/2016 13:36:23
Tara	M. Bruta	M. Líquida	Densidade	V. Líquido	
8,70	219,40	210,70	1,0460	201,43	
8,70	219,20	210,50	1,0460	201,24	
8,70	219,50	210,80	1,0460	201,53	
8,70	219,20	210,50	1,0460	201,24	
Média: 201,36 Amplitude: 0,29 Desvio Padrão: 0,14					
Operador: M.Pires-João					17/03/2016 14:02:09
Tara	M. Bruta	M. Líquida	Densidade	V. Líquido	
8,70	219,10	210,40	1,0460	201,15	
8,70	219,40	210,70	1,0460	201,43	
8,70	219,20	210,50	1,0460	201,24	
8,70	219,40	210,70	1,0460	201,43	
Média: 201,31 Amplitude: 0,28 Desvio Padrão: 0,14					
Operador: M.Pires-João					17/03/2016 14:36:25
Tara	M. Bruta	M. Líquida	Densidade	V. Líquido	
8,70	219,00	210,30	1,0460	201,05	
8,70	219,30	210,60	1,0460	201,34	
8,70	219,60	210,90	1,0460	201,63	
8,70	219,20	210,50	1,0460	201,24	
Média: 201,31 Amplitude: 0,58 Desvio Padrão: 0,24					

## Resumo

Total de Pesagens: 16

Média: 201,12

n<TL1 (191,00) 0

Amp. Média: 0,48

n<TL2 (182,00) 0

D. Padrão Médio: 0,21

## Verificação dos Critérios Legais

Critério	Conformidade			
DL 199/2008	☑	>= QN	201,12 >= 200,00	OK
Portaria 1199/91	☑	>= QN -K	201,12 >= 199,85	OK
TL2				OK

Responsável

Page 1 of 1

17/03/2016 14:51:56

Figura 3.3 Relatório de um lote

Com uma periodicidade de meia hora é retirada uma amostra de dimensão quatro. Cada embalagem é pesada e, automaticamente, é registado o seu valor no *Software*. Determinadas a média da amostra ( $\bar{x}$ ) bem como o seu desvio-padrão (S) e amplitude (R), os pontos são adicionados às respetivas cartas.

A interface principal revela a carta da média e as respetivas observações.

Para além desta, existem outras análises e pesquisas possíveis de realizar, entre as quais:

- Carta de Controlo do desvio-padrão e da amplitude;
- Cálculo dos índices de capacidade dos processos;
- Número de observações que não respeitam os limites legais;

Estas análises podem ser realizadas segundo o horizonte temporal pretendido.

Ao longo do seguinte capítulo, será realizado o caso de estudo que incide na análise da característica “peso”. Como tal, este *Software* irá ser mais pormenorizadamente analisado, sempre na perspetiva de melhoria contínua.

## 4. Caso de estudo

O caso de estudo da presente dissertação tem como objetivo a aplicação da metodologia Seis *Sigma* para o aumento da capacidade do processo de enchimento em formato de cartão da unidade fabril Sumol+Compal situada em Almeirim em relação à característica “volume de enchimento”.

Os processos de fabrico de sumos em embalagens de cartão, através de três máquinas que produzem embalagens de um litro, uma que produz de trezentos e trinta mililitros e cinco que produzem de duzentos mililitros, correspondem a aproximadamente 64% volume de produção de toda a fábrica (nos últimos seis meses, foram produzidos 60247 toneladas de produto final e, desses, 38724 correspondem a embalagens de cartão).

Através das etapas do ciclo DMAIC e das ferramentas convenientes, definiram-se metas, analisaram-se os dados e apresentaram-se medidas de melhoria a ser implementadas, a fim de alcançar os resultados definidos adiante.

### 4.1 Definir

Esta etapa do ciclo DMAIC assenta na definição do problema, bem como na validação da sua importância. Foi constituída uma equipa de trabalho que, em conjunto, definirá os resultados pretendidos.

Foi proposto um estudo acerca da variabilidade da característica “volume de enchimento” nas embalagens produzidas. Observou-se, através do Software *Accept* e de um modo empírico, a elevada dispersão em alguns processos. O objetivo imediato e simplificado foi a redução da variabilidade do processo.

Decidiu-se, posteriormente, enquadrar o problema, não apenas na ótica da dispersão, mas da capacidade do processo.

#### 4.1.1 Característica em estudo e sua importância

A característica em estudo é o volume de enchimento de sumo nas embalagens. Cada embalagem tem a informação do seu valor nominal (figura 4.1).

A característica é medida através de uma relação direta entre a massa e a densidade de um determinado produto, através da seguinte fórmula:

$$\rho = m/v$$



**Figura 4.1 Informação do valor nominal da embalagem**

A massa é medida numa balança e a densidade num densímetro e é constante para cada tipo de produto.

Existem dois principais tipos de problemas que têm repercussões financeiras e que se relacionam com esta característica: sobreenchimento e o não cumprimento dos limites legais.

Em relação ao primeiro, já foram realizados projetos que tinham como objetivo a sua melhoria. O desperdício associado a este problema já está significativamente diminuído, no entanto, na filosofia de melhoria contínua, ao longo deste projeto, a análise deste aspeto estará subjacente.

Em relação ao segundo, é feito um controlo individual no qual se alguma embalagem apresentar um volume de enchimento inferior ao TL, limite legal individual exposto no capítulo 2.2, a mesma é rejeitada. Para além deste, está também legislado que um lote não pode ter uma média inferior ao seu valor nominal. Estes dois controlos são feitos a partir da análise de amostras, não sendo um controlo a 100%.

#### **4.1.2 Análise da proposta**

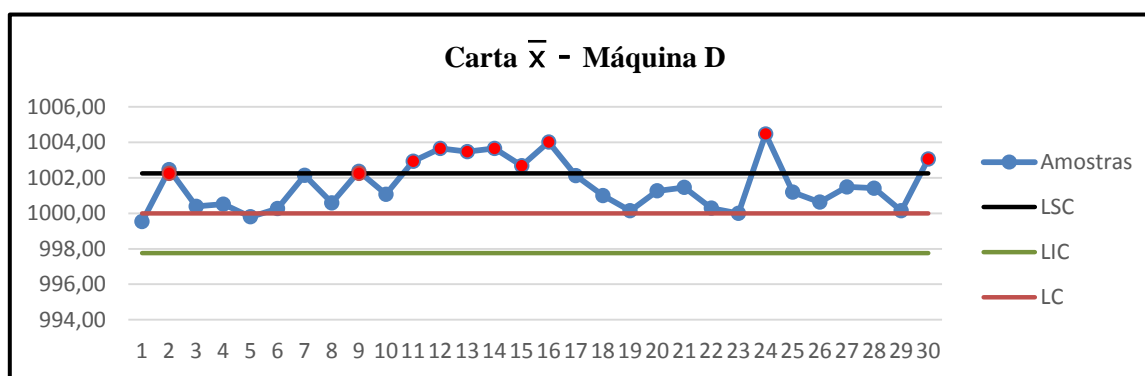
Para analisar a viabilidade da proposta apresentada, recorreu-se ao SPC, nomeadamente às ferramentas denominadas Cartas de Controlo. O objetivo foi aferir, através de cartas da média e do desvio-padrão na Fase 2, se existem evidências de alteração do valor dos parâmetros do processo, que estão expressos na tabela 4.1. De realçar que não se teve acesso aos valores da Fase 1, que foi realizada quando implementado o Controlo Estatístico. Os valores expressos na tabela são os usados na empresa na Fase 2 do Controlo Estatístico.

**Tabela 4.1 Parâmetros e índices de capacidade**

Máquinas	$\mu$ (ml)	$\sigma$ (ml)	LIE (ml)	LSE (ml)	Cp	CPKi	CPKs
A	200	1	195	205	1,67	1,67	1,67
B	200	1	195	205	1,67	1,67	1,67
C	200	1	195	205	1,67	1,67	1,67
H	200	1	195	205	1,67	1,67	1,67
J	200	1	195	205	1,67	1,67	1,67
D	1000	1,5	992,5	1007,5	1,67	1,67	1,67
E	1000	1,5	992,5	1007,5	1,67	1,67	1,67
F	1000	1,5	992,5	1007,5	1,67	1,67	1,67
G	330	1	325	335	1,67	1,67	1,67

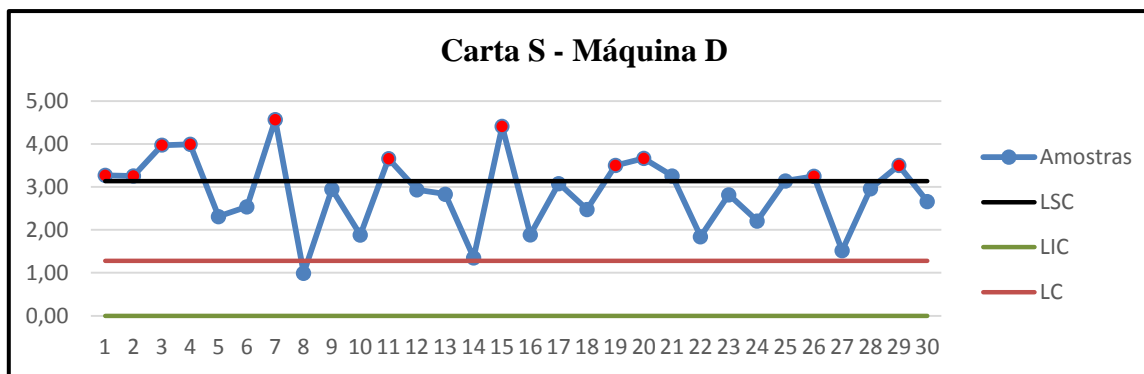
A partir destes dados, realizou-se a Fase 2 do SPC, através do *Software Excel*, tendo sido através destes que se determinou os Limites de Controlo. Seguem-se as cartas de controlo relativas à máquina D (máquina de um litro). Os cálculos que deram origem são apresentados no Anexo A, bem como as cartas para as restantes máquinas.

As amostras têm dimensão 4 e têm frequência horária, e foram retiradas durante a segunda quinzena de Maio, com o propósito de incluir diversos produtos e assim não enviesar resultados. Cada máquina produz diversos artigos, no entanto, como a característica em estudo é o volume de enchimento, o processo é definido com o tipo de máquina e não com o tipo de sabor.



**Figura 4.2 Carta de Controle  $\bar{X}$  para a máquina D na fase 2**





**Figura 4.3 Carta de controle S para a máquina D na fase 2**

#### *Análise da carta e conclusões*

As causas especiais assinaladas a vermelho remetem para a violação de uma das regras para a deteção de padrões não aleatórios. Segue-se a tabela 4.2 que resume as conclusões que são retiradas a partir da observação das cartas de controlo.

**Tabela 4.2 Análise de Resultados das Cartas de Controlo - Fase 2**

Máquina	Formato (ml)	Indícios desvio na média	Indícios desvio na dispersão
<b>A</b>	200	Sim	Não
<b>B</b>	200	Sim	Não
<b>C</b>	200	Sim	Não
<b>H</b>	200	Sim	Não
<b>J</b>	200	Sim	Não
<b>D</b>	1000	Sim	Sim
<b>E</b>	1000	Sim	Sim
<b>F</b>	1000	Sim	Sim
<b>G</b>	330	Sim	Sim

É, então, atestada a viabilidade e importância do projeto, visto haver indícios de um desvio na média e na dispersão nas máquinas D,E,F e G.

Após esta análise decidiu-se não englobar no estudo os processos das máquinas de duzentos mililitros devido a duas razões:

- A tecnologia ser diferente, sendo que a posterior análise seria bastante diferente das restantes quatro máquinas de cartão, o que aumentaria, sem proporção de interesse, a complexidade do projeto.
- Não haver evidências de um aumento do desvio padrão, pois a tecnologia referida é muito mais recente e, conseqüentemente, melhor desenvolvida de forma a garantir a qualidade dos processos pelos quais é responsável.

### 4.1.3 Descrição do âmbito do projeto

Estatisticamente atestada a relevância do projeto, procede-se à definição e descrição do âmbito do projeto.

Neste projeto Seis *Sigma* não existem *Master Black Belt*, *Black Belt* ou *Green Belt* como numa equipa tradicional. A equipa de seguida apresentada contém responsáveis de alguns departamentos, que estarão presentes em todas as etapas de trabalho e reuniões necessárias para o seu desenvolvimento:

- No fim de cada etapa do ciclo DMAIC, resultando num *checkpoint* onde é feito a ponto de situação do projeto;
- No início da etapa posterior, onde se planeia as ferramentas e os resultados a obter;
- Na aplicação de uma ferramenta crítica, como por exemplo o diagrama de Ishikawa;
- Sempre que exista um problema ou uma questão crucial para o desenvolvimento do trabalho.

#### ***Project Charter***

Para esquematizar a definição e objetivos do projeto, bem como informações relativas ao mesmo, apresenta-se o temo de abertura na tabela 4.3.

#### ***VOC e CTQ's***

Na tabela 4.4 estão expressos, de acordo com o tipo de cliente, ou seja, com as diferentes partes interessadas no projeto, as suas necessidades, requisitos e expectativas. Para tal foi utilizada a ferramenta *Voice of Consumer* (VOC). Na mesma tabela, os requisitos foram transformadas em CTQ's ( *Critical to Quality*) que traduzem esses mesmos requisitos em caraterísticas críticas para a qualidade.

**Tabela 4.3 Project Charter do projeto**

Project Charter	
Dados do projeto	
<b>Título</b>	Metodologias Seis <i>Sigma</i> no aumento da qualidade das linhas de cartão da Sumol+Compal
<b>Empresa</b>	Sumol+ Compal
<b>Data de inicio/fim</b>	De 16 de Maio a 16 de Novembro
<b>Produto e Processo</b>	Sumos e refrigerantes dos processos de fabrico em embalagem de cartão
Definição e Descrição do projeto	
<b>Descrição do problema</b>	Os indícios estatísticos, analisados através de cartas de controlo, remetem para falta de capacidade de quatro processos devido à elevada variabilidade e da média não centrada.
<b>Importância do projeto</b>	O projeto tem em vista o aumento da capacidade do processo, diminuindo a variabilidade e centrando a média, o que diminui a probabilidade de haver produtos fora dos limites legais individuais, melhora a qualidade do processo e reduz o sobreenchimento
<b>Metas a atingir</b>	Pretende-se que os processos tenham $c_{pk} = 1,67$ , o que corresponde a um nível <i>Sigma</i> de 6,4.
<b>Outros resultados esperados</b>	Pretende-se que o estudo feito seja também importante para corrigir algumas questões pontuais no <i>Software Accept</i> , enquadrado no compromisso de melhoria contínua
Equipa de Trabalho	
Nome	Função/Departamento
Francisco Ferreira	Líder do projeto
Tiago Fonseca	Analista de Controlo de Qualidade
Engº José Guilherme	Responsável de Controlo de Qualidade
Engº Fábio Pereira	Técnico de Planeamento e Controlo da produção
Eng ºMarco Madeira	Técnico de Garantia da Qualidade
Vítor Mestre	Analista de Controlo da Qualidade
Nuno Canoa	Operador das formulações
Rui Trindade	Responsável pela secção de cartão

**Tabela 4.4 Voice of consumer e Critical to Quality**

Cliente	VOC	Palavras-Chave	CTQ's
<b>Direção da Fábrica</b>	“Queremos reduzir o desperdício de sumos”	Sobreenchimento	Reduzir a média dos lotes se elevada.
<b>Departamento da Qualidade</b>	“Na ótica da melhoria contínua, aumentar a qualidade do processo é sempre importante, sendo a prioridade bem definida e catalogada nos limites legais”	Média, desvio-padrão e capacidade do processo	Analisar média e desvio-padrão, sempre com o fim de aumentar a capacidade; reduzir dispersão, diminuindo a probabilidade de ocorrerem situações fora dos limites legais.
<b>Departamento de Planeamento e Controlo da produção</b>	“Não queremos atrasos na produção”	Planeamento	Fazer um bom planeamento do projeto, o que pressupõe uma eficaz comunicação; recolha de amostras com critério.
<b>Consumidor</b>	“Pretendo que haja uniformização na relação quantidade/preço”	Desvio-Padrão e média	A dispersão deve ser tão reduzida quanto possível e a média muito próxima da nominal.

#### 4.1.4 Definição e descrição do processo

Através da ferramenta SIPOC (tabela 4.5), obteve-se uma visão macro do sub-processo da produção de sumos, correspondente ao enchimento dos mesmos em formato de cartão, no qual ocorrem os problemas a serem estudados ao longo do projeto.

**Tabela 4.5 SIPOC do processo**

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Armazém fabril	Sumos	Esterilização química da embalagem	Embalagem de sumo	Tradicional
Formulações		↓		Moderna
		Moldagem do papel na forma cilíndrica		HORECA
		↓		Cash and Carrys
Tetrapak	Papel	Soldagem da embalagem		Exportação
		↓		
		Enchimento		

#### 4.1.5 Calendarização

Na tabela 4.6, estão registadas a data de início e de fim de cada fase, as quais foram planeadas no início do projeto, comparadas com a duração real das mesmas.

**Tabela 4.6 Calendarização do projeto (data planeada vs data real)**

Fase	Data planeada	Data real
<b>Definir</b>	16 Maio - 16 Junho	1 Junho - 15 Junho
<b>Medir</b>	16 Junho - 16 Julho	16 Julho - 5 Agosto
<b>Analisar</b>	16 Julho - 16 Setembro	6 Agosto - 30 Setembro
<b>Melhorar</b>	16 Setembro - 31 Outubro	1 Outubro - 10 Novembro
<b>Controlar</b>	1 Novembro-16 Novembro	11 Novembro - 16 Novembro

## **4.2. Medir**

Nesta fase pretende-se conhecer de forma concreta e mensurável o problema em estudo. Para estimar os parâmetros dos processos e determinar os índices de capacidade associados às quatro máquinas, construíram-se cartas de controlo na Fase 1. Depois compararam-se com os respetivos resultados apurados aquando a implementação do controlo estatístico nestas máquinas.

### **4.2.1 Recolha de dados**

Os dados utilizados nesta fase são dados históricos da empresa armazenados no *Software Accept*. Para que esta medição fosse tão precisa quanto possível, no sentido de revelar corretamente a tendência dos desvios, recolheu-se 150 amostras de dimensão 4. Assim, são abrangidos diversos artigos eliminando em parte a probabilidade de enviesamento.

As análises desta fase estão divididas em quinzenas, começando na primeira quinzena de Janeiro e terminando na última de Maio, no sentido de atingir a maior abrangência possível de dados. Para cada quinzena foram recolhidos dados de diferentes lotes correspondentes a vários artigos.

Em determinadas quinzenas não foram recolhidas exatamente 150 amostras, porque quando o novo lote se iniciava e a recolha estava já próxima do final, não seria congruente utilizar poucas amostras desse mesmo lote, porque não iriam de todo ser representativas. Como tal se, por exemplo, um lote acabava estando recolhidas, no total, 145 amostras, o processo terminava e estimavam-se os parâmetros e os índices através dessas.

A conversão da característica “peso” para “volume de enchimento” é realizada de forma análoga à descrita na fase anterior.

### **4.2.2 Determinação e comparação dos parâmetros e índices de capacidade**

Através da construção de cartas de controlo, cujos cálculos preliminares e a carta relativa a cada quinzena consultam-se no CD entregue (na pasta “Cálculos auxiliares e Cartas de Controlo, Fase 1), determinaram-se, para cada quinzena, os valores dos parâmetros e os índices de capacidade. Os mesmos encontram-se representados em gráficos, comparando os resultados com os valores iniciais aquando a implementação do controlo estatístico.

#### ***Análise da Normalidade***

Utilizou-se o *Software Statistica* para verificar a Normalidade dos dados para cada quinzena, aplicando o teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Para determinar o valor da estatística “d”,

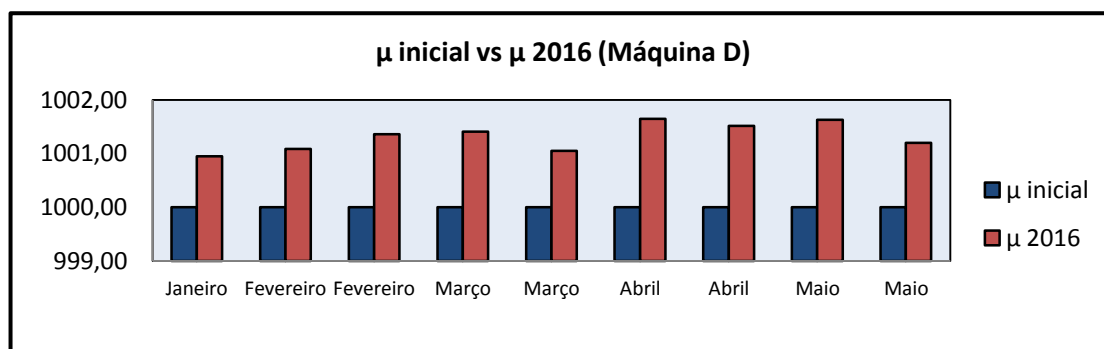
selecionou-se a opção *variable continuous* e comparou-se esse valor com o Ks Crítico. Para um número de observações superior a trinta, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{0,866}{\sqrt{n}}$$

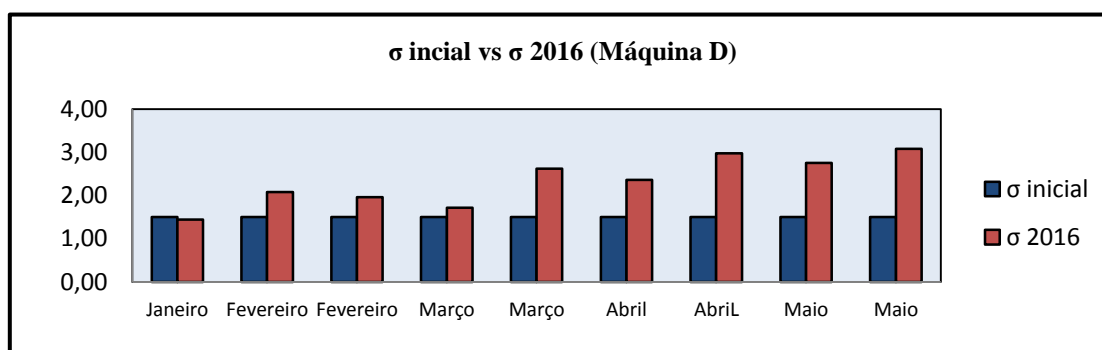
Só após este estudo é congruente calcular os índices de capacidade. Todos os dados são normais, como se comprova no Anexo B.

### ***Representação em gráficos***

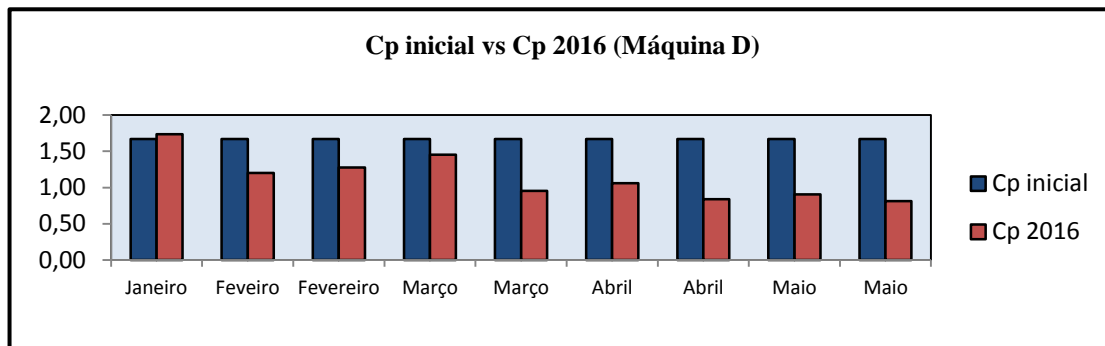
Apresentam-se os gráficos que comparam os parâmetros e os índices Cp e Cpk calculados nesta fase, com os calculados aquando a implementação do Controlo Estatístico de Processos na Sumol+Compal, para a máquina D, bem como os parâmetros do processo. No Anexo C visualiza-se os gráficos para as restantes três máquinas e as tabelas onde estão expressos todos os resultados relativos a cada máquina e a cada quinzena.



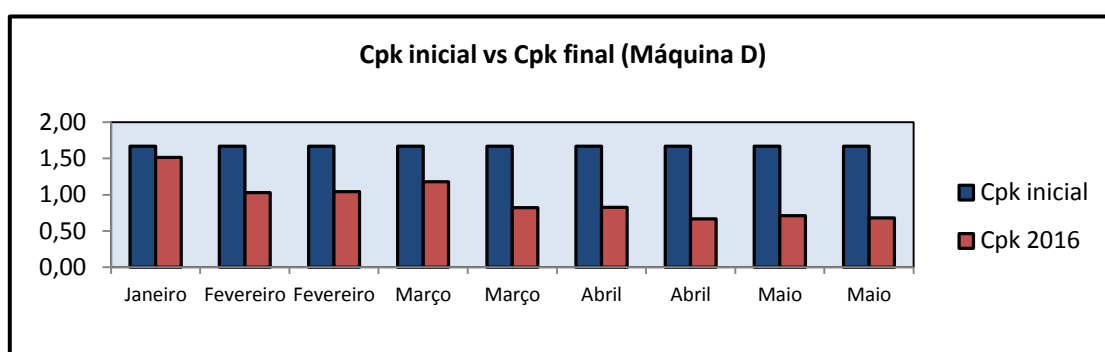
**Figura 4.5 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina D**



**Figura 4.4 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina D**



**Figura 4.6** Representação gráfica da evolução do Cp do processo da máquina D



**Figura 4.7** Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da máquina D

### *Análise dos gráficos*

Em todas as máquinas constata-se um aumento da média em relação à estimada inicialmente, fato que se verifica em todas as quinzenas analisadas. Em relação ao desvio-padrão, constata-se, na máquina D, uma evolução crescente deste parâmetro. Isto deve-se ao alinhamento das mandíbulas, operação que reduz, durante um certo intervalo de tempo, o desvio-padrão do processo. Na máquina E, verifica-se, em relação a este parâmetro, que na primeira quinzena de Fevereiro, Março e Maio, os valores estão próximos dos desejáveis sendo que, nas outras, os valores dispararam. Na máquina F, até à segunda quinzena de Abril, os valores do desvio-padrão encontram-se elevados, havendo uma inversão na segunda quinzena de Abril. Na máquina G, a partir da primeira quinzena de Abril, os valores do desvio-padrão “dispararam”.

Uma das conclusões a tirar desta análise é que o desvio-padrão, entre quinzenas, pode variar significativamente, e isso deve-se, antecipando conclusões tiradas na fase seguinte do ciclo DMAIC, ao processo de alinhamento das mandíbulas.



### 4.2.3 Cálculo do nível *Sigma*

Para calcular o nível *Sigma* correspondente às quatro máquinas, utilizaram-se os valores dos parâmetros, estimados para cada quinzena de cada máquina e, após o cálculo do DPMO, converteu-se para o nível *Sigma*. O valor do nível *Sigma* de cada processo corresponde ao nível *Sigma* médio de todas as quinzenas. Apresenta-se, na tabela 4.7, as etapas para cálculo do nível *Sigma* médio para a máquina D. As restantes encontram-se no Anexo D. Note-se que o cálculo do nível *Sigma* foi realizado a partir da fórmula 2.1.

**Tabela 4.7 Cálculo do nível *Sigma* para cada quinzena**

Máquina D	Janeiro 2	Fevereiro 1	Fevereiro 2	Março 1	Março 2	Abril 1	Abril 2	Maio 1	Maio 2
$\mu$	1000.95	1001.09	1001.36	1001.41	1001.05	1001.65	1001.52	1001.63	1001.20
$\sigma$	1.44	2.08	1.96	1.72	2.62	2.36	2.98	2.76	3.08
$P(X>1007,5)+P(X<992,5)$	2.70E-06	1.05E-03	8.69E-04	2.00E-04	7.46E-03	6.64E-03	2.36E-02	1.72E-02	2.28E-02
DPMO	2.70	1047.16	869.26	199.65	7461.97	6643.86	23625.80	17187.74	22771.46
Nível <i>Sigma</i>	6	4.6	4.6	5	3.9	4	3.5	3.6	3.5

A tabela 4.8 compara o nível *Sigma* médio para cada máquina e o nível *Sigma* que se pretende atingir no final da fase “melhorar”.

**Tabela 4.8 Nível *Sigma* médio atual vs Nível *Sigma* objetivo**

Máquina	Nível <i>Sigma</i> médio	Nível <i>Sigma</i> objetivo
<b>D</b>	4,30	6,4
<b>E</b>	4,24	6,4
<b>F</b>	4,39	6,4
<b>G</b>	4,43	6,4

O cálculo do “nível *Sigma* objetivo” baseou-se no objetivo já traçado na fase “definir” de atingir  $cp=cpk=1,67$ , para todos os processos, o que corresponde, para as máquinas que enchem embalagens de um litro a  $\mu=1000$  ml e  $\sigma=1,5$  ml, e para as máquinas que enchem embalagens de 330 ml a  $\mu=300$  ml e  $\sigma=1$  ml. A conversão para nível *Sigma* foi análoga à utilizada para o cálculo do nível *Sigma* para cada quinzena.

### 4.3 Analisar

Nesta fase definiram-se as causas que potencialmente afetam tanto a média como o desvio-padrão, tendo como consequência a falta de capacidade do processo. Para tal, em primeiro lugar, realizou-se um *Brainstorming* que teve como resultado uma lista das mesmas. Depois, agruparam-se as mesmas em grupos correspondentes às causas especiais de variação, através do

Diagrama de *Ishikawa*. Por fim, através da Análise de *Pareto*, averiguou-se quais as mais relevantes para analisar, correspondentes às que têm mais impacto no problema.

Depois da análise de *Pareto* as causas foram estudadas com dois objetivos:

- Averiguar se essa causa tem influência na capacidade do processo;
- Caso se verifique o ponto anterior, perceber se existe uma causa relacionada com esse fator que vem afetando negativamente os índices de capacidade.

#### **4.3.1 Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Diagrama de Pareto**

Seguem-se as potenciais causas, numerados, como resultado da aplicação da ferramenta

*Brainstorming*:

1. Desajustamento do Nível de azoto
2. Duração do lote
3. Erros/Defeitos do *Accept*
4. Desalinhamento das mandíbulas
5. Densidade do produto
6. Viscosidade do produto
7. *Setup* da máquina
8. Oscilações da tara
9. Sistema de medição do peso
10. Desgaste da válvula de enchimento
11. Sistema de medição da densidade
12. Oscilações Caudal e Pressão
13. Temperatura de enchimento
14. Cadência da máquina
15. Temperatura do peróxido
16. Sistema de Medição da tara

Algumas das causas foram divididas em sub-causas, o que corresponde a três níveis, sendo que as restantes organizam-se em dois níveis. O Diagrama de Ishikawa (figura 4.8) tem como o objetivo representar essas causas que contribuem para o problema comum.

Para a construção do diagrama de *Pareto*, em primeiro lugar, realizou-se uma tabela que resume o processo de avaliação da relevância dos fatores em estudo na capacidade do processo. Seis elementos da equipa de trabalho classificaram todos os fatores, sendo que a pontuação de 1 remete para o mínimo de influência e a pontuação de 9 para o máximo de influência, intermediados pelas pontuações de 3,5 e 7. Seguidamente, os fatores foram ordenados em ordem decrescente de relevância e construído o diagrama de *Pareto*.

**Tabela 4.9 Avaliação das causas**

Fator/ Membro	Francisco	Nuno	José	Vítor	Marco	Nuno	Total
1	9	9	9	9	9	9	54
2	7	7	9	7	7	7	44
3	9	7	7	9	7	7	46
4	9	7	9	7	7	9	48
5	1	3	3	3	3	5	18
6	3	3	5	3	3	3	20
7	5	3	1	3	3	1	16
8	7	7	7	7	7	7	42
9	1	1	1	3	1	1	8
10	3	5	5	3	5	5	26
11	1	1	1	1	1	1	6
12	7	9	9	7	9	9	50
13	3	1	1	1	1	1	8
14	1	1	1	1	1	1	6
15	1	1	1	1	1	1	6
16	1	1	1	1	1	1	6

**Tabela 4.10 Ranking das classificações**

Fator	Número	%	% acumulada
1	54	13,37	13,37
12	50	12,38	25,74
4	48	11,88	37,62
3	46	11,39	49,01
2	44	10,89	59,90
8	42	10,40	70,30
10	26	6,44	76,73
6	20	4,95	81,68
5	18	4,46	86,14
7	16	3,96	90,10
9	8	1,98	92,08
13	8	1,98	94,06
11	6	1,49	95,54
14	6	1,49	97,03
15	6	1,49	98,51
16	6	1,49	100,00

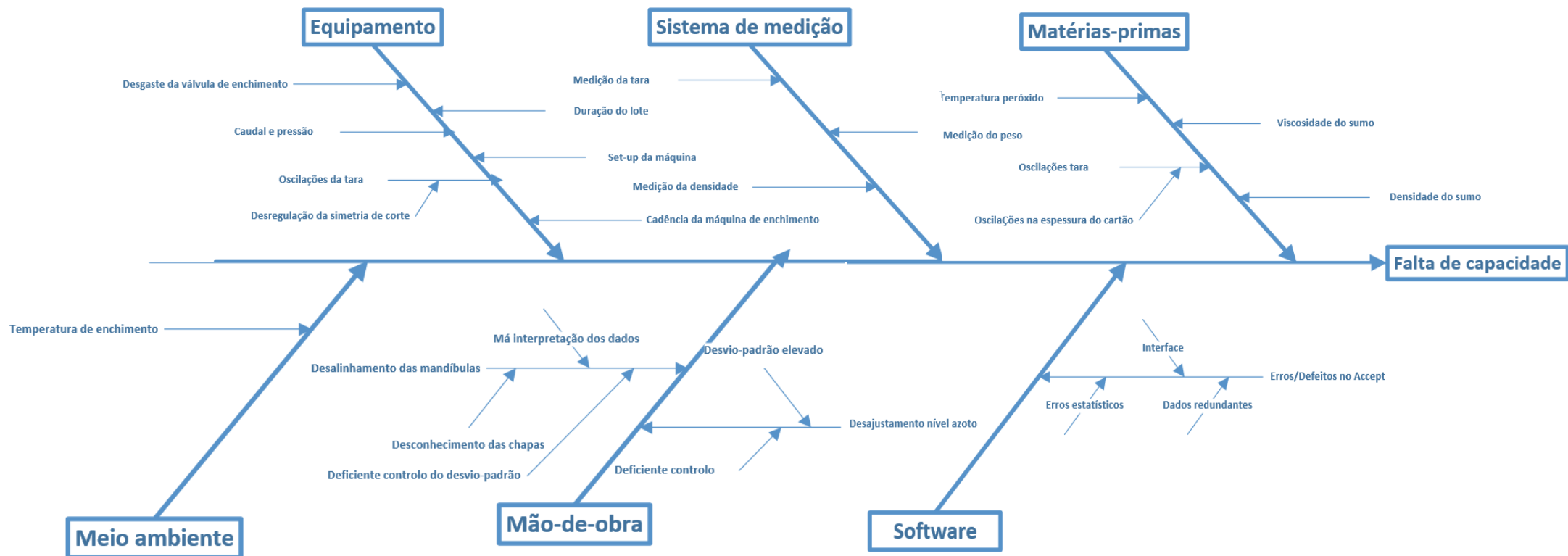


Figura 4.8 Diagrama de Ishikawa

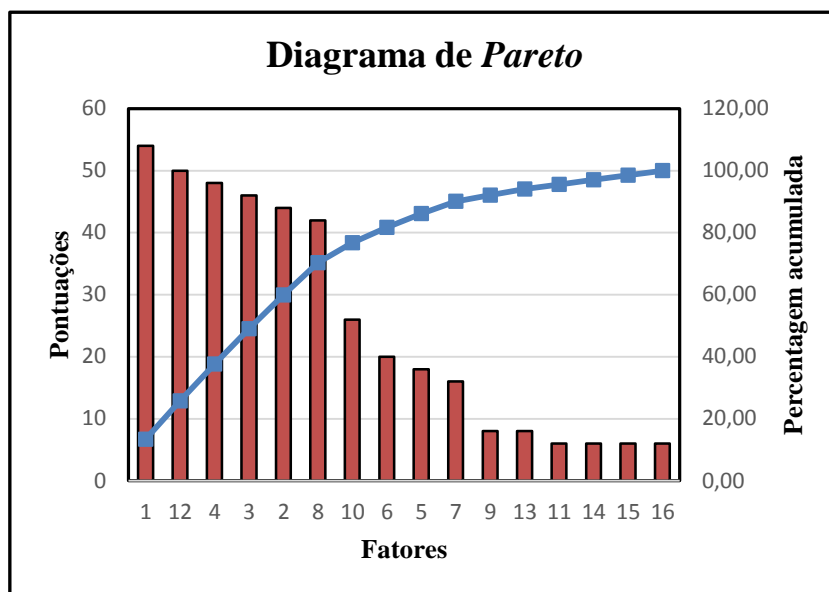


Figura 4.9 Diagrama de Pareto

A filosofia da aplicação desta ferramenta apoia-se no fundamento de 20% das causas correspondem a 80% dos efeitos. A partir disso, divide-se as causas nas classes A, B e C. Observando este diagrama, nota-se claramente três classes distintas: o primeiro conjunto que potencialmente mais influencia (causas 1, 12, 4, 3, 2 e 8), o segundo que se designa por classe B (causas 10, 6, 5 e 7) e os restantes que, segundo a classificação da equipa, têm menos impacto (causas 9, 13, 11, 14, 15 e 16).

As causas da classe A correspondem a 37,5% do número total, o que representa uma percentagem superior à esperada segundo a Lei de Pareto. Esses mesmos fatores têm aproximadamente 80% da relevância, com base na classificação da equipa, e, como tal, a sua análise específica segue-se.

#### 4.3.2 Desajustamento do Nível de azoto

Esta causa influencia a média da característica e é uma das duas formas de controlar esse parâmetro (a outra é explicada aquando abordadas as mandíbulas), sendo que a quantidade de azoto faz variar, unicamente, o valor médio do volume de enchimento e é a mais simples de ser realizada.

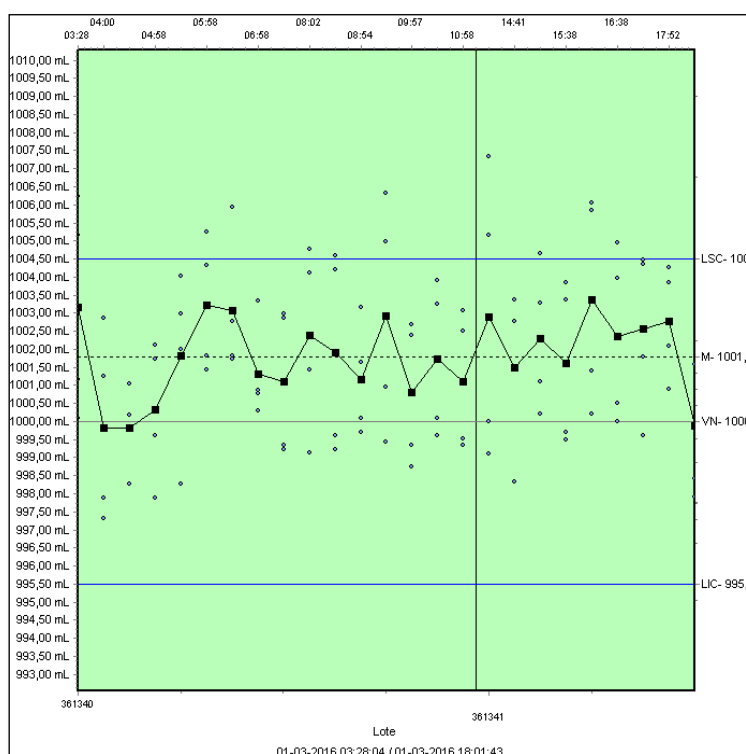
Através de um injetor de azoto, esse gás é adicionado no sumo. O gás tem um peso desprezável, no entanto ocupa volume e, dessa forma, é possível controlar o volume de sumo em cada

pacote. Os operadores regulam essa quantidade através de um botão, que demora segundos a manipular.

Existem duas regras legais, as quais os operadores têm que atentar obrigatoriamente e que estão referidas na fase “definir”. Estas duas regras são de crucial cumprimento, visto que uma qualquer falha traria certamente muitos prejuízos para a empresa, quer a nível financeiro quer respeitante à imagem. No entanto, através de uma observação direta na sala de enchimento e através de uma análise diária do programa *Accept*, foram detetados alguns erros que levam ao aumento da média em relação ao valor medido aquando a implementação do SPC:

- Uma demora a regular a quantidade de azoto quando há indícios que possa ter ocorrido um aumento da média;
- Má interpretação das cartas de controlo do *Software*.

Em relação à última, como se observa na figura 4.10 retirada do *Accept*, os operadores regem-se, muitas vezes, não pelo valor nominal correspondente à média do processo (neste caso um litro), mas sim através média do lote que é determinada de amostra para amostra. Este erro tem um efeito cumulativo, ou seja, leva ao aumento gradual do valor médio.



**Figura 4.10 Erro no controlo da média**

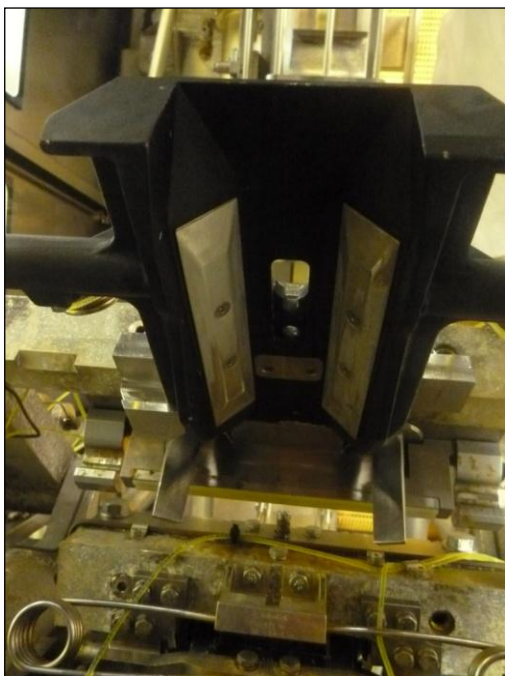
Estes dois erros têm como consequência o descentramento do processo e contribuem para uma falta de capacidade do mesmo, para além de conduzirem ao desperdício de matéria-prima.

### 4.3.3 Desalinhamento das mandíbulas

As máquinas da *TetraPak* que produzem formatos de litro e de 330 ml são constituídas por duas mandíbulas. Elas moldam o papel que entra na máquina numa forma prismática e o mesmo é, posteriormente, selado. Em frações de segundo a válvula de enchimento, que possui fotocélulas, enche a embalagem com o auxílio desses sensores. Essa válvula de enchimento trabalha de forma automática. Só numa manutenção ela, eventualmente, poderá ser calibrada ou reparada.

Cada mandíbula trabalha de forma independente, logo se o ajustamento das formas de volume for diferente entre elas, o nível de aperto das embalagens respectivas será, consequentemente, diferente.

Como a válvula de enchimento é automática e enche através de sensores, uma variação na forma que uma mandíbula está a moldar a embalagem tem repercussões no volume de enchimento. Quanto de forma mais apertada a mandíbula moldar a embalagem, menor é o volume de enchimento. É de realçar que esta é a segunda forma de manipular a média, ainda que nunca utilizada por razões óbvias.



**Figura 4.11 Mandíbula com chapas de compensação**



**Figure 4.12 Válvula de enchimento**

Para averiguar se existem diferenças significativas entre a média das duas mandíbulas realizaram-se testes de hipótese para cada uma das máquinas com o intuito de aferir se a diferença é significativa e, consequentemente, se afeta a dispersão.

Foram recolhidas sessenta observações (trinta de cada mandíbula). Seguem-se os testes de hipótese relativos a cada uma das máquinas.

**Tabela 4.11 Dados para os testes de Hipóteses**

Máquina	Produto	n esquerda	n direita	$\bar{X}$ esquerda	$\bar{X}$ direita	$S^2$ esquerda	$S^2$ direita
D	Lipton Ice Tea	30	30	1001,45	999,84	3,53	3,03
E	Manga Laranja	30	30	1003,45	998,57	1,27	0,95
F	Manga FC	30	30	1002,64	1001,68	1,03	1,34
G	Lipton Ice Tea	30	30	328,20	331,27	1,05	1,13

Através das observações retiradas (apresentados no CD na pasta “observações para Testes de Hipótese”) e a partir dos resultados provenientes da tabela 4.11, realizou-se, em primeiro lugar, um teste de comparação de duas variâncias. A estatística de teste,  $F_0$ , irá concluir se se rejeita ou não a hipótese nula. Caso se verifique o segundo cenário, assume-se que as variâncias não são significativamente diferentes. O nível de significância do teste é de  $\alpha = 5\%$ .

De forma análoga à realizada na fase “medir”, foi verificada Normalidade das observações utilizando o *Software Statistica*. Realça-se que o teste de *Kolmogorov – Smirnov* foi realizado, uma vez mais para um nível de significância de  $\alpha = 5\%$ .

**Tabela 4.12 Teste Kolmogorov - Smirnov**

Máquina	n	Ks	Ks crítico	Conclusão
<b>D - Esquerda</b>	30	0.098	0,161	Normal
<b>D - Direita</b>	30	0.109	0,161	Normal
<b>E - Esquerda</b>	30	0.096	0,161	Normal
<b>E - Direita</b>	30	0.157	0,161	Normal
<b>F - Esquerda</b>	30	0.158	0,161	Normal
<b>F - Direita</b>	30	0.119	0,161	Normal
<b>G - Esquerda</b>	30	0.145	0,161	Normal
<b>G - Direita</b>	30	0.113	0,161	Normal

**Tabelas 4.13 Testes de Hipótese - Comparação de Variâncias ( Máquinas D, E, F e G )**

Máquina D		Máquina F	
Teste F ( Comparação Variâncias)		Teste F ( Comparação Variâncias)	
$H_0$	$\sigma^2_{\text{esquerda}} = \sigma^2_{\text{direita}}$	$H_0$	$\sigma^2_{\text{esquerda}} = \sigma^2_{\text{direita}}$
$H_1$	$\sigma^2_{\text{esquerda}} \neq \sigma^2_{\text{direita}}$	$H_1$	$\sigma^2_{\text{esquerda}} \neq \sigma^2_{\text{direita}}$
$F_0$	1.16	$F_0$	0.77
$F_{0,025; 29; 29}$	0.48	$F_{0,025; 29; 29}$	0.48
$F_{0,975; 29; 29}$	2.10	$F_{0,975; 29; 29}$	2.10
Conclusão	Não se rejeita $H_0$	Conclusão	Não se rejeita $H_0$



Máquina G		Máquina E	
Teste F ( Comparação Variâncias)		Teste F ( Comparação Variâncias)	
H <sub>0</sub>	$\sigma^2_{\text{esquerda}} = \sigma^2_{\text{direita}}$	H <sub>0</sub>	$\sigma^2_{\text{esquerda}} = \sigma^2_{\text{direita}}$
H <sub>1</sub>	$\sigma^2_{\text{esquerda}} \neq \sigma^2_{\text{direita}}$	H <sub>1</sub>	$\sigma^2_{\text{esquerda}} \neq \sigma^2_{\text{direita}}$
F <sub>0</sub>	0.93	F <sub>0</sub>	1.34
F <sub>0,025; 29; 29</sub>	0.48	F <sub>0,025; 29; 29</sub>	0.48
F <sub>0,975; 29; 29</sub>	2.10	F <sub>0,975; 29; 29</sub>	2.10
Conclusão	Não se rejeita H <sub>0</sub>	Conclusão	Não se rejeita H <sub>0</sub>

Com as mesmas observações como ponto de partida e conhecendo que, para cada máquina e para as duas populações não se rejeita a hipótese  $\sigma^2_{\text{esquerda}} = \sigma^2_{\text{direita}}$ , realizou-se um teste de hipótese para a diferença de duas médias, com um nível de significância de  $\alpha=5\%$ . Sabe-se que as variâncias desconhecidas das populações não significativamente diferentes.

**Tabelas 4.14 Testes de Hipótese- Diferença de médias**

Máquina D		Máquina E	
Teste T ( Diferença de Médias)		Teste T ( Diferença de Médias)	
H <sub>0</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} = \mu_{\text{direita}}$	H <sub>0</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} = \mu_{\text{direita}}$
H <sub>1</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} \neq \mu_{\text{direita}}$	H <sub>1</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} \neq \mu_{\text{direita}}$
Sp	1.81	Sp	1.05
t <sub>0</sub>	3.44	t <sub>0</sub>	17.93
T <sub>crítico</sub>	2.003	T <sub>crítico</sub>	2.003
Conclusão	Rejeita-se H <sub>0</sub>	Conclusão	Rejeita-se H <sub>0</sub>

Máquina F		Máquina G	
Teste T ( Diferença de Médias)		Teste T ( Diferença de Médias)	
H <sub>0</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} = \mu_{\text{direita}}$	H <sub>0</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} = \mu_{\text{direita}}$
H <sub>1</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} \neq \mu_{\text{direita}}$	H <sub>1</sub>	$\mu_{\text{esquerda}} \neq \mu_{\text{direita}}$
Sp	1.09	Sp	1.04
t <sub>0</sub>	3.43	t <sub>0</sub>	11.42
T <sub>crítico</sub>	2.003	T <sub>crítico</sub>	2.003
Conclusão	Rejeita-se H <sub>0</sub>	Conclusão	Rejeita-se H <sub>0</sub>

Como se pode constatar, todos os testes realizados levam à conclusão que existe uma diferença significativa entre a média do volume de enchimento nas embalagens provenientes de cada uma das mandíbulas. Existem duas formas de alterar o nível de aperto das mandíbulas:

- Alinhamento na manutenção preventiva
- Alinhamentos com chapas de compensação

O alinhamento das mandíbulas na manutenção preventiva é um processo moroso, que só é realizado aquando uma manutenção da máquina. É de notar que após a manutenção, durante um determinado período de tempo após um alinhamento, o desvio-padrão diminui e consequentemente a capacidade do processo aumenta (situação referida na fase “medir”, aquando a análise dos gráficos), mas passado um tempo de funcionamento variável com a máquina, os níveis voltam a “disparar”.

Outra forma é a colocação de chapas de compensação. Este processo demora de dois a dez minutos e permite que haja um sincronismo entre os valores médios de cada mandíbula. Contudo, existem sub-causas na execução deste método relacionadas com a mão-de-obra responsável por este processo:

- Não existência de um controlo contínuo do desvio-padrão
- Desconhecimento por parte da maioria dos operadores no que diz respeito à colocação das chapas para atenuar o problema
- Má interpretação da causa da dispersão elevada.

#### **4.3.4 Caudal e Pressão**

Dois fatores que potencialmente influenciam a dispersão é o volume de caudal proveniente dos pasteurizadores localizados na secção das formulações e que alimentam as máquinas de enchimento e a pressão a que o mesmo é libertado. Para averiguar se estes dois parâmetros são significativos no valor da variável dependente que neste caso é o desvio-padrão amostral, realizou-se um desenho de experiências com dois fatores a vários níveis. Em primeiro lugar foram retiradas quinze observações para cada mandíbula, variando os níveis dos fatores. Para cada uma calculou-se a média e o desvio-padrão. Note-se que nesta análise não tem relevância a diferença da média dos valores do peso entre mandíbulas, sendo que isso já foi estudado e concluído anteriormente. Apenas tem relevância a dispersão entre observações da mesma mandíbula, a fim de se cingir estes cálculos à influência das duas variáveis.

**Tabela 4.15 Níveis e designação dos fatores**

Fator	Designação	Níveis dos fatores
Caudal	A	7760 l/h; 7780 l/h
Pressão	B	1,3 kg; 1,5 kg; 1,7 kg

**Tabela 4.16 Dados retirados para o DOE - Máquina D**

Máquina D	Pressão: 1,5 kg		Pressão: 1,5 kg		Pressão: 1,7kg		Pressão: 1,3 kg		Pressão: 1,3 kg		Pressão: 1,7 kg	
	Caudal: 7760 l/h		Caudal: 7780 l/h		Caudal: 7760 l/h		Caudal: 7760 l/h		Caudal: 7780 l/h		Caudal: 7780 l/h	
Média	1002.46	1006.59	1001.00	1007.02	1001.09	1007.12	998.83	1005.24	1001.33	1006.65	1000.11	1005.57
Desvio-padrão	1.15	0.90	1.34	1.65	1.54	1.44	1.94	2.05	1.93	1.92	1.90	1.99

Na tabela 4.16 encontram-se as observações da máquina D que deram origem ao DOE. No Anexo E, estão registadas as observações da máquina E.

Para a realização destes testes, foi necessário um sincronismo entre as formulações e o enchimento. Simultaneamente à mudança dos valores das variáveis independentes (caudal e pressão) na secção das formulações, foram retiradas as observações das embalagens na secção de enchimento para, posteriormente, se determinar os respetivos volumes de enchimentos. Foram realizados dois ensaios, para as máquinas D e E. Este tipo de testes implicam custos à empresa, na medida em que envolvem a ajuda de vários operadores e existe o risco de paragem da máquina e também da produção de unidades não conformes. A tal devido, não foi possível realizar mais ensaios. Escolheram-se essas duas máquinas pois como a D é do tipo A<sub>3</sub> Flex e as G,E e F são do tipo TBA 21, os ensaios contemplam os dois tipos de equipamento.

Através do *Software Statistica*, seguiu-se o seguinte procedimento:

1. Introdução dos dados no *Statistica*
2. ANOVA (Análise de Variâncias) e resultados.
3. Análise dos resíduos e pressupostos
4. Análise dos melhores níveis

Utilizou-se a opção *two and three level mixing* e introduziram-se os dados correspondentes às observações que se encontram em anexo.

Apresentam-se, na tabela 4.17 os resultados da tabela ANOVA para a máquina D e, no Anexo F, a análise semelhante para a máquina E.

**Tabela 4.17 ANOVA - Máquina D**

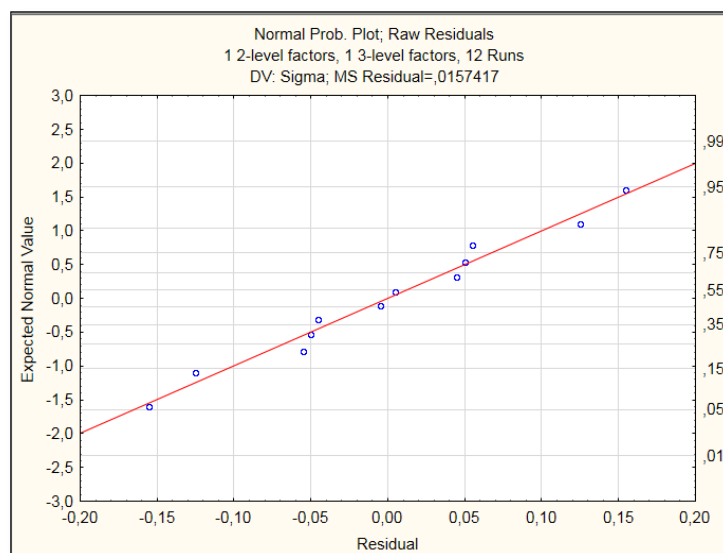
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Pressão L+Q	1,010817	2	0,505408	32,10641	0,000624
(2)Caudal L	0,243675	1	0,243675	15,47962	0,007674
1*2	0,189150	2	0,094575	6,00794	0,036939
Error	0,094450	6	0,015742		
Total SS	1,538092	11			

Observando cada uma das tabelas, constata-se que para todos os fatores (A, B e AB) as estatísticas de teste ( $F_0$ ) quando comparadas com os valores críticos da distribuição de Fisher para  $\alpha=5\%$ , indiciam que todos os fatores afetam de forma significativa a resposta e, portanto, para todos eles é necessário estudar os melhores níveis, de modo a conseguir um valor da resposta tanto menor quanto possível.

Porém, para que este estudo possa prosseguir, é necessário verificar os pressupostos da Normalidade, Homogeneidade e Independência dos resíduos.

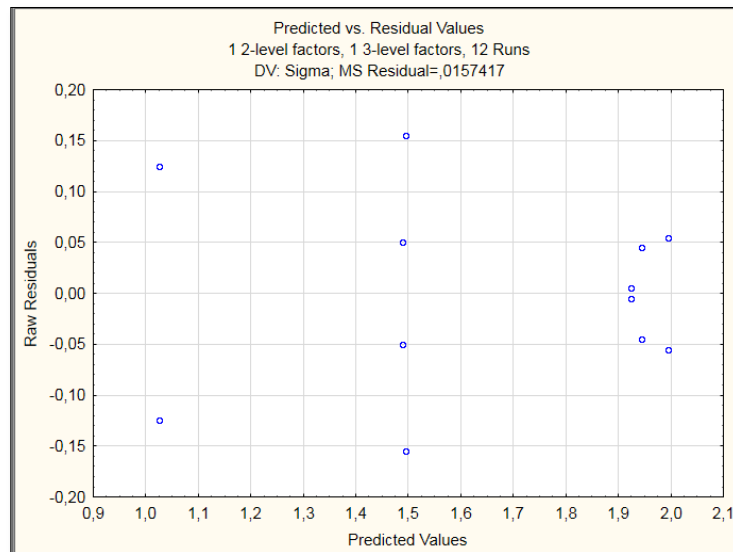
O pressuposto da independência não pôde ser verificado, pois não foi registada a ordem de execução dos ensaios.

A figura 4.13 evidencia que os resíduos se dispõem em torno da reta, não parecendo verificar-se a violação do pressuposto da Normalidade.



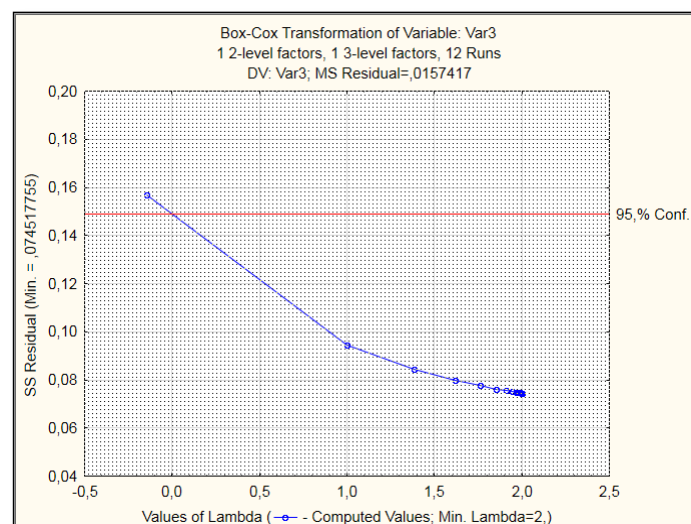
**Figura 4.13 Análise de Resíduos: Normalidade**

Por sua vez, o gráfico dos resíduos vs valores previstos (figura 4.14) não evidencia uma violação do pressuposto da Homogeneidade da variância.



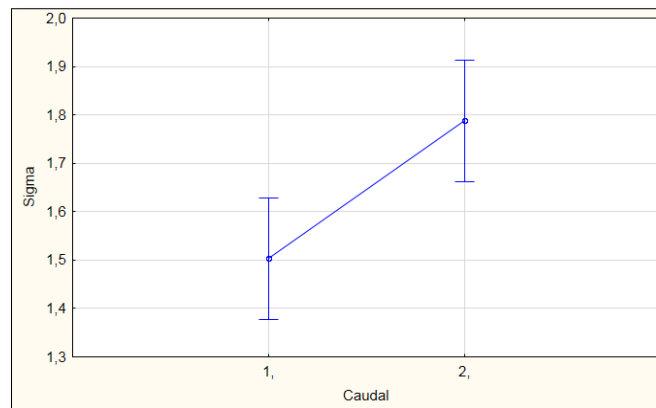
**Figura 4.14 Análise de Resíduos: Homogeneidade da Variância**

Para averiguar a necessidade de transformação de dados, utilizou-se um método que consiste na determinação do intervalo de confiança (neste caso para um nível de confiança de 95%) no gráfico da Variação Residual em função de  $\lambda$ . Como se observa na figura 4.15 o intervalo de confiança inclui a unidade ( $\lambda=1$ ), como tal não existe a necessidade de transformar dados.

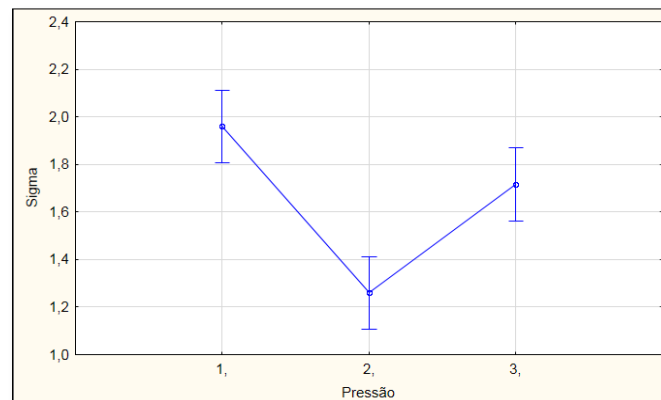


**Figura 4.15 Box-Cox**

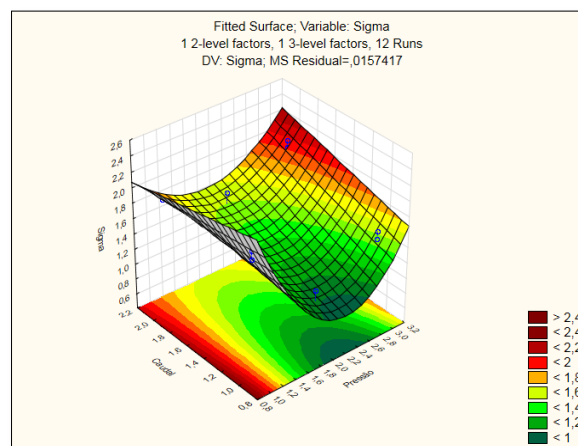
Atestada a validade dos pressupostos, aferiu-se os melhores níveis de cada fator, através da observação dos gráficos de resposta e da interação entre eles (figuras 4.16, 4.17 e 4.18). Em anexo encontram-se os resultados relativos à máquina E.



**Figura 4.16 Melhor nível do fator "Caudal"**



**Figura 4.17 Melhor nível do fator "pressão"**



**Figura 4.18 Melhor nível da interação**

Conclui-se, da aplicação desta ferramenta, que para otimizar o valor do desvio-padrão (quanto menor, melhor), os melhores níveis dos fatores são:

- **Pressão:** 1,5 kg
- **Caudal:** 7760 l/h

### 4.3.5 Tara

A tara considerada para as embalagens de litro é de 36,5 gramas e para as de 330 ml é de 13,7 gramas. Pode haver diferenças na tara devido à constituição e espessura do cartão. Como tal, para averiguar não só o valor médio mas o desvio-padrão entre taras das embalagens realizaram-se dois ensaios, com produtos diferentes, respeitantes a cada uma das máquinas de litro e dois ensaios para as embalagens de 330 ml. Cada ensaio englobará dez observações.

**Tabela 4.18 Média e desvio-padrão das taras das embalagens**

Observação	Máquina D	Máquina D	Máquina E	Máquina E	Máquina F	Máquina F	Máquina G	Máquina G
1	36	35.5	35.5	34.5	34.8	34.8	12.4	12.3
2	36	35.4	35.8	35.1	34.7	34.9	12.5	12.3
3	36.6	35.3	36.5	34.8	34.4	34.7	12.4	12.4
4	35.9	35.5	35.9	34.6	34.3	34.5	12.5	12.3
5	36	35.6	35.7	34.6	34.5	34.4	12.6	12.2
6	35.8	35.5	36.3	34.7	34.1	34.5	12.5	12.6
7	36	35.4	36.4	34.4	34.4	34.6	12.4	12.6
8	35.7	35.6	36.3	34.6	34.4	34.6	12.4	12.6
9	36	35.5	35.5	34.8	34.4	34.5	12.5	12.6
10	35.6	35.7	35.9	34.2	34.5	34.7	12.4	12.7
Média	35.96	35.50	35.98	34.63	34.45	34.62	12.46	12.46
Desvio padrão	0.27	0.12	0.37	0.25	0.20	0.15	0.07	0.18

Os valores da média da tara são um pouco menores que os pré-definidos no *Accept*. Isto acontece porque quando os operadores retiram as amostras para serem pesadas, a água que é usada na lubrificação da máquina está infiltrada nas embalagens. Consequentemente, o peso aumenta. Para colmatar este fator e na tentativa de uma aproximação ao valor real do volume de enchimento, o valor da tara média utilizada no *Software* está nivelada por excesso.

Em relação ao aspeto essencial nesta análise, que se centra na variação dentro da mesma máquina, os resultados foram algo diferentes em relação aos inferidos aquando a primeira vez que se fez esta análise. Nessa, o valor máximo de desvio-padrão amostral registado foi 0,11. Atualmente, os valores estão, como se observa na tabela 4.18, inflacionados.

A razão para a variação de taras entre observações respeitantes ao mesmo produto e à mesma máquina deve-se a questões técnicas do equipamento relacionadas com a forma como o mesmo corta o papel e às variações na espessura do cartão. Se não houver nenhuma oscilação no equipamento nem na espessura, o desvio-padrão amostral das observações será nulo. Quanto maior a oscilação, maior o desvio-padrão.

### 4.3.6 Duração da produção do lote

Existem lotes de diferentes dimensões e, consequentemente, o tempo de produção é proporcional. A duração, portanto, pode influenciar alguns aspetos técnicos da máquina, como seja o alinhamento das mandíbulas, a calibração da máquina ou o caudal e pressão. Com vista a

averiguar se este fator tem influência na dispersão, ou seja, se há uma tendência ao longo do tempo, utilizou-se o diagrama de dispersão.

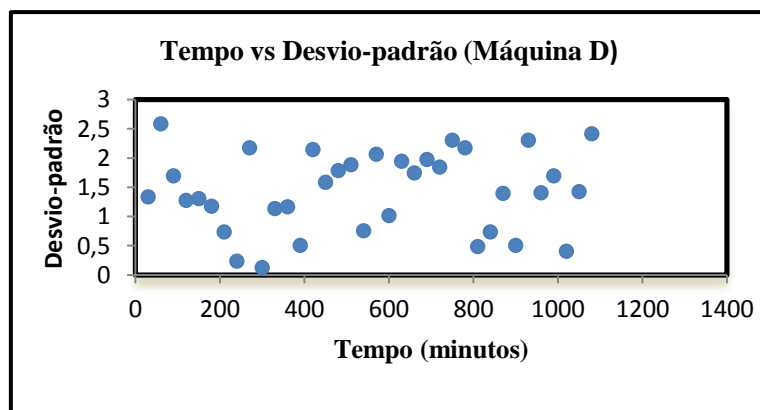


Figura 4.19 Diagrama de dispersão - Máquina D

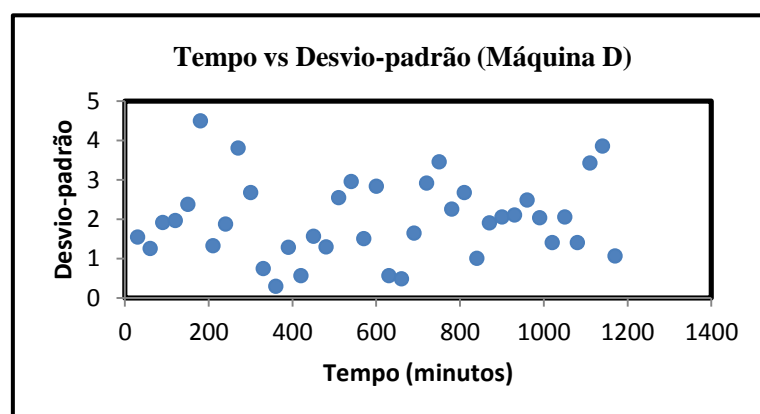


Figura 4.20 Diagrama de dispersão - Máquina D

Através da análise dos mesmos, cujos restantes se encontram no anexo G, e cujas observações e cálculos auxiliares encontram-se no CD (na pasta “diagramas de dispersão”) constata-se que não existe, para a máquina D, qualquer relação entre as duas variáveis. Uma análise análoga para as restantes três máquinas foi realizada, complementada com o cálculo do índice de correlação linear para cada uma delas (tabela 4.19). Através da sua análise, verificamos um padrão incongruente. Um lote da máquina E revela uma correlação moderadamente positiva, os dois da máquina F uma relação fracamente negativa e um da máquina F uma correlação fracamente positiva.



**Tabela 4.19 Índice de correlação linear e conclusões**

Máquina	Lote	$r_{xy}$	Conclusão
D	363281	0,070	Sem correlação
D	362967	0,090	Sem correlação
E	363290	-0,022	Sem correlação
E	362389	0,61	Moderadamente positiva
F	363293	-0,208	Fracamente negativa
F	363100	-0,36	Fracamente negativa
G	363272	0,083	Sem correlação
G	363271	0,329	Fracamente positiva

#### 4.3.7. Erros/Defeitos do Accept

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Processos

Process

**Figura 4.21 Interface do Software Accept**

Existem alguns erros estatísticos detetados no *Software Accept* e, para além desses, também foram verificados procedimentos e interfaces que apresentam alguns defeitos, mas que não podem ser designados como erro. Como se constata pelas figuras 4.21 e 4.22 retiradas do *Software*, existe duas interfaces principais, que são aquelas que os operadores têm em atenção e pelas quais regem as suas ações. O valor médio da característica “volume de enchimento” é controlado através das cartas de controlo para a média. Em relação ao desvio-padrão, apenas aparece o valor do S em cada amostra e visualmente pode averiguar-se a dispersão entre as observações.

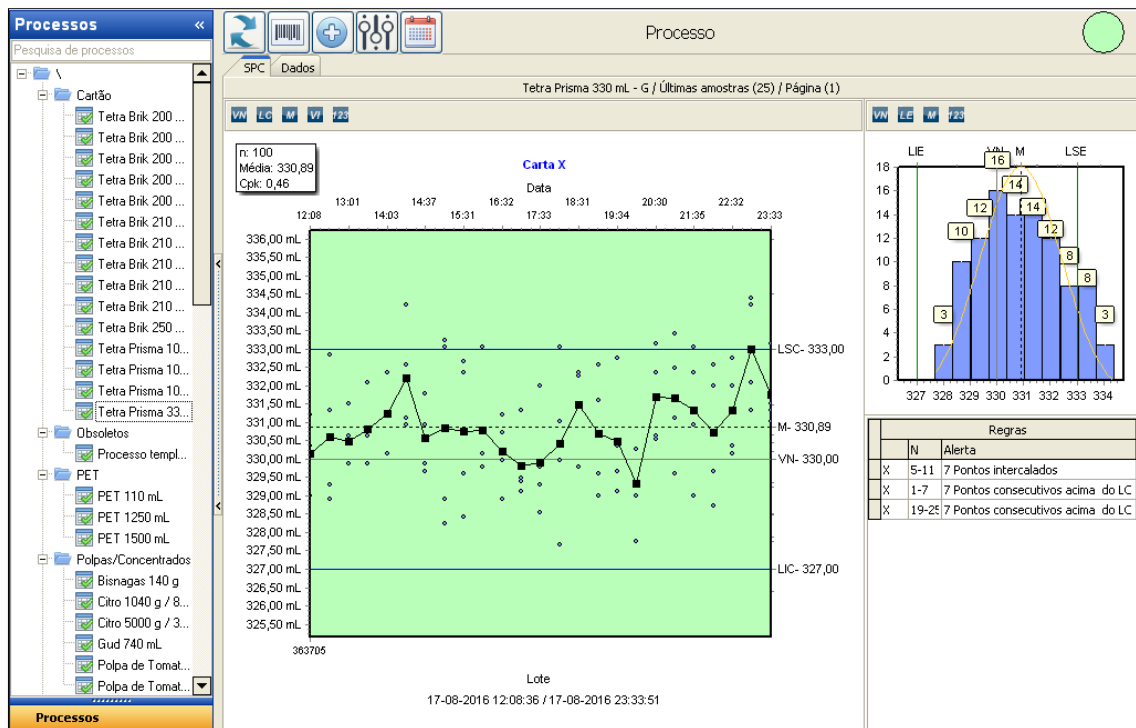


Figura 4.22 Interface do Software Accept

Foram detetados, neste *Software*, vários erros e defeitos de várias naturezas. Por um lado, entende-se a tentativa de simplificar as interfaces com o objetivo de ser mais facilmente interpretada por todos os operadores. Por outro, existem *outputs* importantes que com o atual sistema são ineficazes e, por vezes, inexistentes.

### Erros estatísticos

- Os limites de especificação são iguais aos limites de controlo da média, algo que sob o ponto de vista de controlo estatístico não é correto. Este erro tem como consequência o cálculo errado da capacidade do processo.
- Os limites de controlo da média estão corretamente calculados. Utiliza-se os valores de 1004,5 e de 995,5 (ml) para, respetivamente, os limites de controlo superior e inferior (no caso das máquinas de litro) e de 333 e 327 (ml) para, respetivamente, os limites de controlo superior e inferior (no caso das máquinas de 0,33 litros).
- A carta do desvio-padrão, não tem limites fixos, variam de amostra para amostra. A Fase 2 de Controlo Estatístico de Processos, em relação a cartas da média e do desvio-padrão, pressupõe limites constantes.
- O desvio-padrão do processo é estimado de amostra para amostra de um mesmo lote, o qual pode ser observado na interface “Análise de dados”. Contudo, a constante  $c_4$  utilizada para estimar o desvio-padrão do processo foi considerada incorretamente.
- A regra para a deteção de Causas Especiais “Um qualquer ponto fora dos limites de ação” é mal aplicada. O controlo, como já explicitado, é feito a partir de amostras de

dimensão quatro, logo as regras devem ser aplicadas à média e ao desvio-padrão das quatro amostras. Verifica-se que esta regra é aplicada às observações individuais, aparecendo o sinal visual vermelho se alguma destas ultrapassar os limites e verde caso contrário.

#### ***Defeitos operacionais, visuais e de interface***

- A carta do desvio-padrão não está na interface principal.
- O histograma que se encontra ao lado da carta de controlo não tem relevância adequada ao realce que lhe é dado. Este aspeto é incongruente, pois é ignorado pelos operadores, não só não adicionando qualquer vantagem mas, pelo contrário, tirando o foco ao que é realmente importante.
- A interface onde estão expressos os valores das observações e respetivas médias possuem informação não importante para o controlo estatístico e muitas vezes redundante. É caso disso a hora e data de um determinado lote (que já está registado abaixo da carta de controlo), bem como valores da tara, densidade, tipo de embalagem.
- A linha do limite central da carta de controlo da média confunde-se com outras informações, não tendo o realce eficaz para evitar um dos erros que os operadores cometem na regulação do nível de azoto, exposto anteriormente.

## **4.4 Melhorar**

Depois de se terem detetado as causas que mais significativamente, segundo a avaliação da equipa, contribuem para o problema em estudo, nesta fase pretende-se a aplicação de medidas de melhoria que contribuam para a minimização do mesmo.

Em primeiro lugar realizou-se uma lista de medidas possíveis de serem executadas e posteriormente, entre estas, foram selecionadas as que, segundo uma análise multicritério, figurarem nos primeiros lugares do *ranking* dessa ferramenta.

Depois, foi realizado um teste piloto nas quatro máquinas em estudo, aplicando essas medidas selecionadas, e calculado o nível *Sigma* e comparado com o inicial, para aferir se ocorreram diferenças significativas, nomeadamente no centramento da média, diminuição do desvio padrão e aumento dos índices de capacidade do processo, ou seja, no aumento do nível *Sigma*.

#### 4.4.1 Lista de possíveis medidas de melhoria

De acordo com as conclusões advindas da fase “analisar” e com o conhecimento do processo por parte da equipa de trabalho, foram estabelecidas as possíveis medidas de melhoria que se seguem:

1. Alterações no *Software Accept*
2. Formação no terreno
3. Aquisição de novas máquinas com tecnologia mais recente
4. Afição dos mecanismos de corte
5. Aumento da periodicidade alinhamento das mandíbulas
6. Formação em sala

#### 4.4.2 Matriz de prioridades

O objetivo da aplicação desta ferramenta é a construção de um ranking no qual figurem as diferentes soluções segundo a sua importância. Foram cinco os critérios utilizados:

- **A:** Minimização do custo da implementação
- **B:** Minimização do tempo de implementação
- **C:** Minimização da dificuldade de implementação
- **D:** Minimização da dificuldade de controlo
- **E:** Maximização do impacto no resultado pretendido

Para aferir a ponderação de cada critério, ou seja, a importância dos mesmos comparando uns com os outros, realizou-se uma matriz de prioridades de critérios. As classificações são dadas por comparação, sendo a lógica da ponderação dos critérios definida (tabelas 4.20 e 4.21).

**Tabela 4.20 Pontuação e respetivo significado**

Pontuação	Significado
1	A mesma importância
5	Mais importante que a alternativa
10	Muito mais importante que a alternativa
1/5	Menos importante do que a alternativa
1/10	Muito menos importante que a alternativa

### Matriz de prioridade dos critérios

Tabela 4.21 Matriz de prioridade dos critérios

	A	B	C	D	E	Total	Ponderação
A		5	5	10	5	25	0,43
B	1/5		1/5	1	1/10	1,5	0,03
C	1/5	5		5	1/5	10,4	0,18
D	1/10	1	1/5		1/5	1,5	0,03
E	1/5	10	5	5		20,2	0,34
Total	0,7	21	10,4	21	5,5	58,6	1,00

### Matriz das prioridades das opções para cada critério

Para cada critério exposto, realizou-se uma matriz que compara as seis soluções segundo o mesmo. A lógica de classificação é a mesma que a utilizada na comparação dos critérios (tabelas 4.22 a 4.26).

Tabela 4.22 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização do custo"

Minimização do Custo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total	Ponderação
S1		1/5	10	5	10	1/5	25,40	0,21
S2	5		10	10	10	1	36,00	0,29
S3	1/10	1/10		1/10	1/5	1/10	0,60	0,00
S4	1/5	1/10	10		10	1/10	20,40	0,16
S5	1/10	1/10	5	1/10		1/10	5,40	0,04
S6	5	1	10	10	10		36,00	0,29
Total	10,40	1,50	45,00	25,20	40,20	1,50	123,80	1,00

Tabela 4.23 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização do tempo de implementação"

Minimização tempo implementação	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total	Ponderação
S1		5	10	5	5	1	26,0	0,27
S2	1/5		10	5	5	1/5	20,4	0,21
S3	1/10	1/10		1/10	1/10	1/10	0,5	0,01
S4	1/5	1/5	10		1	1/5	11,6	0,12
S5	1/5	1/5	10	1		1/5	11,6	0,12
S6	1	5	10	5	5		26,0	0,27
Total	1,70	10,50	50,00	16,10	16,10	1,70	96,1	1,00

**Tabela 4.24 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização das dificuldades de implementação"**

Minimização dificuldade imp.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total	Ponderação
S1		5	10	5	10	1	31,0	0,27
S2	1/5		10	5	10	1/5	25,4	0,22
S3	1/10	1/10		1/10	1/5	1/10	0,6	0,01
S4	1/5	1/5	10		10	1/5	20,6	0,18
S5	1/10	1/10	5	1/10		1/10	5,4	0,05
S6	1	5	10	5	10		31,0	0,27
Total	1,60	10,40	45,00	15,20	40,20	1,60	114,0	1,00

**Tabela 4.25 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Maximização do impacto"**

Maximização impacto	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total	Ponderação
S1		1	1/5	10	1	5	17,20	0,19
S2	1		1/5	10	1	5	17,20	0,19
S3	5	5		10	5	5	30,00	0,32
S4	1/10	1/10	1/10		1/10	1/10	0,50	0,01
S5	1	1	1/5	10		5	17,20	0,19
S6	1/5	1/5	1/5	10	1/5		10,80	0,12
Total	7,30	7,30	0,90	50,00	7,30	20,10	92,90	1,00

**Tabela 4.26 Matriz das prioridades das soluções segundo o critério "Minimização das dificuldades de controlo"**

Minimização dificuldade control	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Total	Ponderação
S1		5	10	5	5	1	26,0	0,26
S2	1/5		10	1/5	1/5	1/5	10,8	0,11
S3	1/10	1/10		1/10	1/10	1/10	0,5	0,01
S4	1/5	5	10		5	1/5	20,4	0,21
S5	1/5	5	10	1/5		1/5	15,6	0,16
S6	1	5	10	5	5		26,0	0,26
Total	1,70	20,10	50,00	10,50	15,30	1,70	99,3	1,00

Note-se que não há níveis intermédios entre as pontuações 5 e 10. Resulta que pontuações iguais possam ter significados algo diferentes. Na tabela correspondente ao critério “Minimização da dificuldade de implementação”, o  $S_1$  foi classificado como *mais importante* que  $S_2$  e que  $S_4$ , ou seja, é mais fácil implementar a primeira solução do que as duas apresentadas. No entanto, comparando  $S_2$  com  $S_4$ , a primeira solução é mais fácil que a segunda.

Este é um exemplo de classificações iguais para dois critérios, mas quando comparados entre si, não têm a mesma importância.

### **Matriz de prioridades Soluções vs Critérios**

Para obter o ranking das soluções como *output* desta ferramenta, desenhou-se uma tabela a qual resume a ponderação de cada solução segundo cada critério calculada sob o procedimento anterior e, depois, multiplicou-se esse valor pela ponderação de cada critério calculada inicialmente. O valor da importância  $S_1$  é dado por:

$$S_1 = 0,21 * 0,43 + 0,27 * 0,03 + 0,27 * 0,18 + 0,26 * 0,03 + 0,19 * 0,34 = 0,21$$

**Tabela 4.27 Ranking das soluções**

	A (0,43)	B (0,03)	C (0,18)	D (0,03)	E (0,34)	Importância	Ranking
<b>S1</b>	0,21	0,27	0,27	0,26	0,19	0,21	3º
<b>S2</b>	0,29	0,21	0,22	0,11	0,19	0,24	1º
<b>S3</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,32	0,12	4º
<b>S4</b>	0,16	0,12	0,18	0,21	0,01	0,11	5º
<b>S5</b>	0,04	0,12	0,05	0,16	0,19	0,10	6º
<b>S6</b>	0,29	0,27	0,27	0,26	0,12	0,23	2º

Analisando a tabela 4.27, observa-se que existem três soluções que se destacam das outras. Conclui-se, então, que as medidas a serem aplicadas são:

- **S<sub>2</sub>: Formação no terreno**
- **S<sub>6</sub>: Formação em sala**
- **S<sub>1</sub>: Alterações no Software *Accept***

### **4.4.3 Descrição das medidas de melhoria**

#### **Formação em sala**

O objetivo destas formações, a primeira das medidas a ser executada, centrou-se em aspetos teóricos com o intuito de se assimilar a importância de um controlo estatístico dos processos, na visualização e explicação de opções e interfaces importantes do *Accept* e o realce de alguns erros repetidos e respetiva correção. Sem a compreensão e domínio teórico quer do controlo estatístico em si, quer do *Software* utilizado para tal, torna-se impossível ter um processo com capacidade. Seguem-se as definições e conceitos teóricos abordados:

- Definição de metrologia e divisão nos três grandes tipos (Científica ou Primária, Aplicada ou Industrial e Legal ou de Fiscalização).

- Definição de pré-embalado.
- Condições gerais de comercialização de pré-embalados
- Vantagens do controlo estatístico de pré-embalados

Em relação ao *Accept*, foram abordadas as seguintes temáticas:

- Vantagens de uma correta utilização do Software.
- Estrutura do *Accept*.
- Criação e configuração de processos
- Emissão de relatórios
- Análise de dados
- Recomendações de Controlo de processos de enchimento

Por fim, referiram-se alguns erros que se têm vindo a repetir e a respetiva correção. Ao iniciar a produção, a primeira amostra não deve ser registada no *Accept*, mas sim utilizada apenas como guia de ajustamento. Isto porque quando existe uma mudança de lote e de produto, é necessário um ajustamento na máquina porque o comportamento da mesma varia consoante o produto de enchimento. Para não enviesar o valor da média do lote, que é calculada no final da produção do mesmo e tem que corresponder aos critérios legais já expostos na presente dissertação, sugere-se, então, que a primeira amostra tenha um papel de guia.

Por outro lado, foi mostrado, através de imagens de registos históricos das cartas de controlo, um erro cometido em relação ao ajuste das médias. Foi estabelecido e lembrado aos operadores que o controlo da média deve ser regido pelo valor nominal e não pela média do lote calculada a cada amostra e não deve haver demora nessa regulação.

Os valores elevados do desvio-padrão dos processos de litro e 330ml também foram abordados, e os operadores puderam debater o tema. Foi-lhes anunciado o trabalho que estava a ser desenvolvido no sentido de diminuir o valor desse parâmetro e, consequentemente, aumentar a capacidade do processo. Noticiou-se a posterior formação no terreno, onde as melhorias práticas serão implementadas, bem como uma abordagem mais detalhada em relação a este tema.

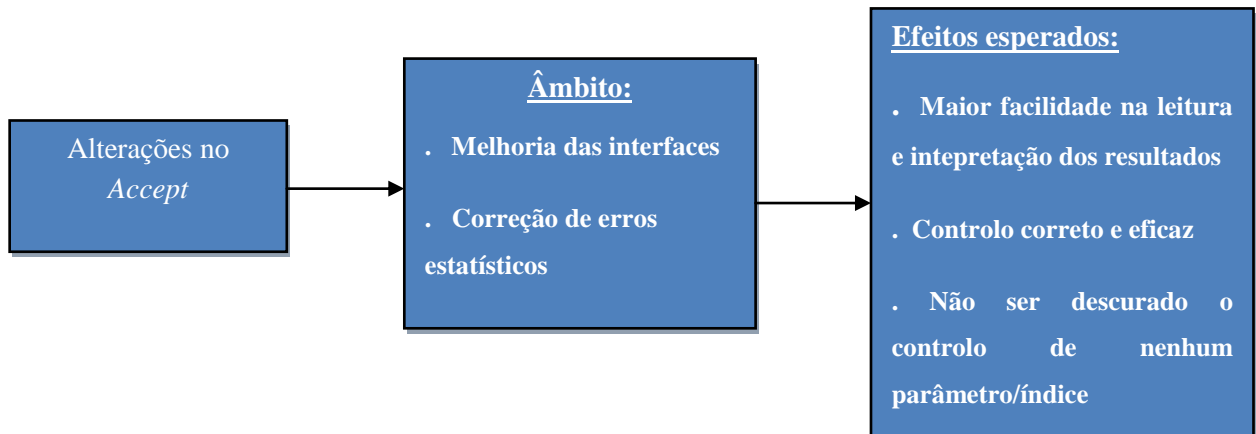
Esta formação foi realizada pelo autor da dissertação e pelo Engenheiro Marco Madeira, constituinte da equipa deste projeto.

### ***Melhoria do Software Accept***

Qualquer alteração no *Software* teve como principal condutor a simbiose entre a Estatística e o “chão de fábrica”. Não faz sentido promover alterações absolutamente corretas estatisticamente, se dificultar em demasia a assimilação por parte dos operadores, pois isso iria implicar a não



concretização dos objetivos propostos no início do projeto. Por outro lado, se um erro tem vindo a ser sistematicamente ignorado ou se existem alterações possíveis que promovam a eficácia do controlo, é importante a sua implementação e consequente formação para quem lida com o *Software*.



Segue-se o executado:

- Estabeleceu-se os limites de controlo superior e inferior para o controlo do desvio-padrão. Em todas as máquinas, o limite inferior é zero. Para as máquinas de litro, o limite superior é **3,13** mililitros e para as máquinas de 330 mililitros é **2,10** mililitros.
- Para calcular corretamente, de amostra para amostra, o desvio-padrão do processo, corrigiu-se o valor da constante  $c_4$ , a qual, para uma dimensão  $n=4$ , tem o valor de **0,9213**.
- Fez-se acionar um alarme visual sempre que o valor de uma observação ultrapassasse o TL1 ou TL2 (limites individuais). Na sequência disso, deixou de aparecer um alarme quando o valor de uma observação ultrapassasse os limites de controlo para a média.
- Retirou-se o histograma da interface principal e colocou-se os valores da média e do desvio-padrão de cada amostra. Na sequência disto, fez-se acionar um alarme visual sempre que existisse uma causa especial para qualquer um dos parâmetros.
- Colocou-se a vermelho a linha correspondente à linha central.
- Retiraram-se dados redundantes de uma das interfaces (hora, data, lote e valor nominal), bem como dados não fundamentais para o controlo (turno, operador, tipo de embalagem, fornecedor, linha e unidade).

A figura 4.23 retirada do *Software Accept* que mostra a nova interface com as alterações referidas.

Existe ainda duas medidas que não foram implementadas até à conclusão do estágio, devido à necessidade de construir uma nova versão do programa a fim de as concretizar. São elas:

- Estabelecer os limites de especificação superior e inferior com um intervalo de  $5\sigma$  em relação à média do processo. Para as máquinas de litro corresponde a **1007,5** e **992,5** mililitros, respetivamente, e para a máquina de 330 mililitros, a **335** e **325**, respetivamente.
- Estabelecer os limites de controlo superior e inferior para a média segundo as fórmulas expostas em 2.10 a 2.15. Corresponde, para as máquinas de litro, a **1002,25** e **997,75** mililitros, respetivamente e, para as de 330 mililitros, a **331,50** e **328,50** mililitros, respetivamente.

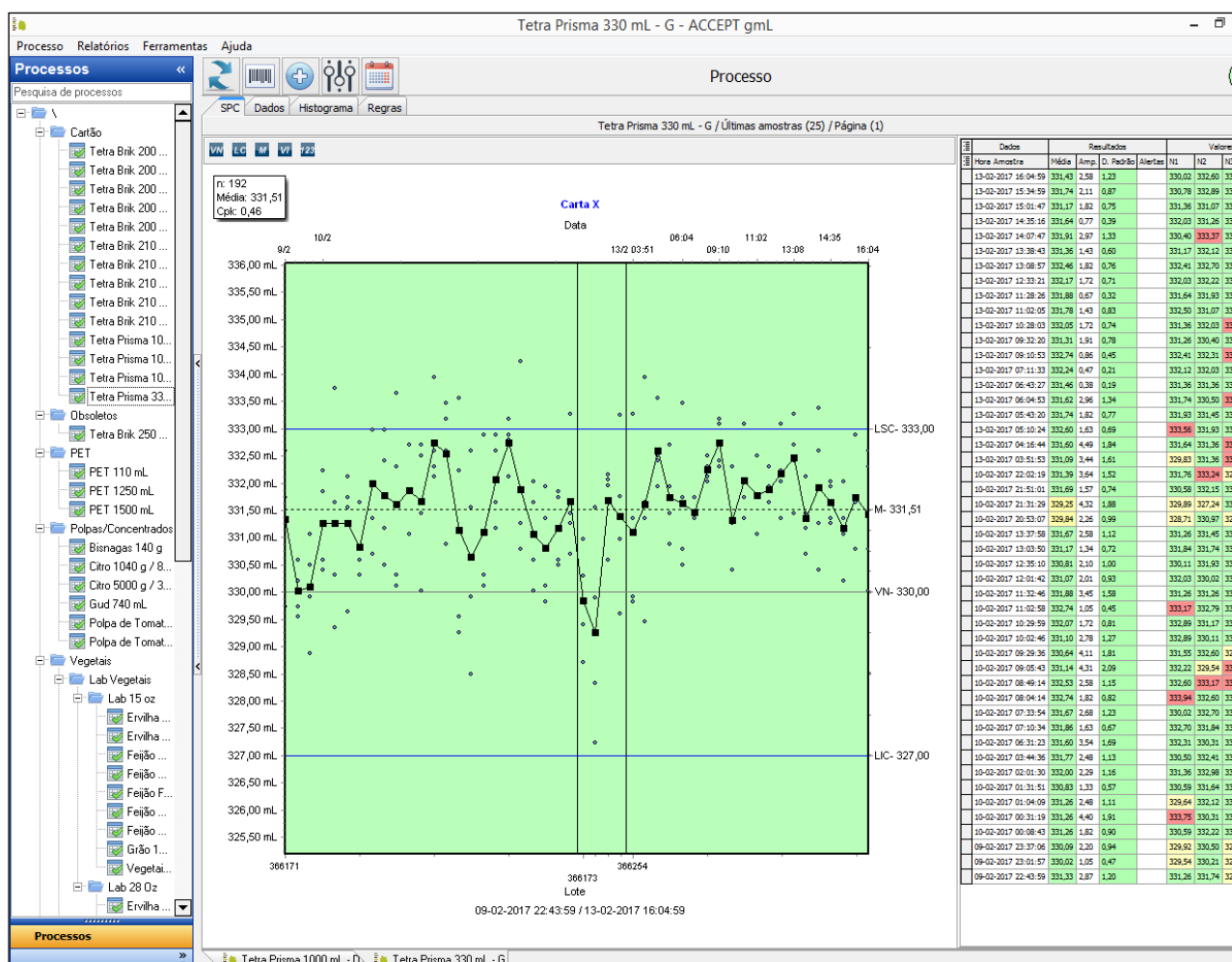


Figura 4.23 Alterações do Software Accept

### Formação no terreno

Realizou-se um plano de ação para a execução desta medida, utilizando a ferramenta 5W2H. Seguidamente, serão detalhados alguns aspetos na tabela 4.28.

**Tabela 4.28 Planeamento das medidas de melhoria através da ferramenta "5W2H"**

<b>What?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação para reduzir o desvio-padrão das máquinas em estudo, centrar a média, aumentando a capacidade dos processos e o nível <i>Sigma</i>.</li> <li>Acompanhamento contínuo dos procedimentos.</li> </ul>
<b>Why?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controlo ineficaz dos parâmetros dos processos ( não existência e/ou má interpretação)</li> <li>Desconhecimento de medidas de melhoria já implementadas.</li> <li>Demora na concretização de ações cruciais.</li> <li>Inexistência de um procedimento quando se verifica uma causa especial de variação.</li> </ul>
<b>Who?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Departamento de Controlo de Qualidade</li> <li>Operadores na secção de cartão</li> <li>Operadores das formulações</li> </ul>
<b>When?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Após a execução/implementação das medidas “Alterações no <i>Accept</i>” e “Formação em sala”</li> </ul>
<b>Where?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratórios do controlo de qualidade</li> <li>Sala de enchimento em formato de cartão</li> <li>Sala das formulações</li> </ul>
<b>How?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chamar a atenção de causas especiais para a média e desvio-padrão quando elas acontecerem e explicar as consequências que daí advêm, bem como outros aspetos importantes.</li> <li>Em relação à média, com o apoio de um fluxograma, explicar as ações a executar aquando a existência de uma causa especial ( <b>regulação do nível de azoto</b>).</li> <li>Em relação ao desvio-padrão, com o apoio do mesmo fluxograma, explicar as ações a executar aquando a existência de uma causa especial (<b>parar a máquina para colocar ou retirar chapas de compensação e/ou contatar as formulações para ajustarem os parâmetros de caudal e/ou pressão</b>).</li> <li>Introduzir as alterações no <i>Accept</i>, referindo a sua importância e o modo correto de interpretar as várias interfaces do Software.</li> <li>Monitorizar e interferir sempre que exista uma causa especial, para constatar se os procedimentos foram assimilados e se estão a ser cumpridos.</li> </ul>
<b>How much?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sem custos diretos.</li> </ul>

Como se depreende, os dois aspetos fundamentais desta medida são o controlo da média e do desvio-padrão. Recorde-se que na fase analisar, as características do produto como a densidade e a viscosidade, foram considerados não relevantes em relação ao impacto no problema, pela equipa de trabalho. Essa avaliação baseou-se no fato de, empiricamente observando o registo das cartas de controlo, não se verificar diferenças nos resultados do SPC consoante a variação das características do produto. No entanto, no início de cada lote, existe uma mudança de matéria-prima no processo, pois o sumo produzido é diferente. Como repercussão, a primeira amostra de cada lote apresenta valores dos parâmetros muito diferentes dos esperados. É, então, fundamental, que no início da produção de um determinado sumo se tenha especial atenção à média e ao desvio-padrão, intervindo prontamente caso os valores estejam em desacordo com o requerido.

#### a) Aspetos relacionados com a média

Na figura 4.24 é apresentado o painel onde se regula o azoto. Se se aumentar o nível do mesmo, o peso das embalagens diminui, e vice-versa.



Figura 4.24 Painel de controlo do nível de azoto nas máquinas em estudo

Os aspetos essenciais a ter em conta são:

- A média deve ser controlada a partir do seu valor nominal e não segundo a média do lote que varia de amostra para amostra;
- Sempre que exista uma causa especial, deve ser imediatamente regulado o nível de azoto e, conseqüentemente, o peso;

Sabendo que existe uma regra legal em que a média de um lote não pode estar abaixo do valor nominal da embalagem, bem como os limites legais individuais ( $TL_1$  e  $TL_2$ ), os operadores dão uma margem demasiado grande, o que aumenta o sobreenchimento. Isto acontece porque como

o desvio-padrão é muito elevado, diminuindo demasiado o peso, existe o perigo de violar uma ou ambas as regras legais, então os operadores para não correrem esse risco optam pelo sobreenchimento. Se houver uma redução visível da variabilidade do processo, a probabilidade de haver observações abaixo do limite legal também se reduz, logo o operador pode “mexer” na média sem o receito de violar a legislação.

## b) Aspectos relacionados com o desvio-padrão

Decorrente da análise feita na fase anterior, são três os principais fatores que afetam o valor deste parâmetro: a diferença entre mandíbulas, os valores de caudal e pressão e a variação entre as taras das embalagens. Na formação no terreno abordaram-se os dois primeiros fatores, sendo que o último tem um impacto muito menos significativo e a medida de melhoria que contemplava o mesmo não foi implementada, decisão feita a partir da análise multicritério.

Em relação às mandíbulas, já fora implementada a medida que consiste na colocação de chapas de compensação de modo a que os valores do peso das embalagens provenientes das duas mandíbulas não seja significativamente diferente. Para resolver os problemas na aplicação desta medida, na formação, foi explicado aos operadores que a desconheciam como e quando executá-la e a sua importância. Em relação aos valores de caudal e pressão, foram indicados os resultados do estudo e que devem ser seguidos.

## c) Esquema orientador

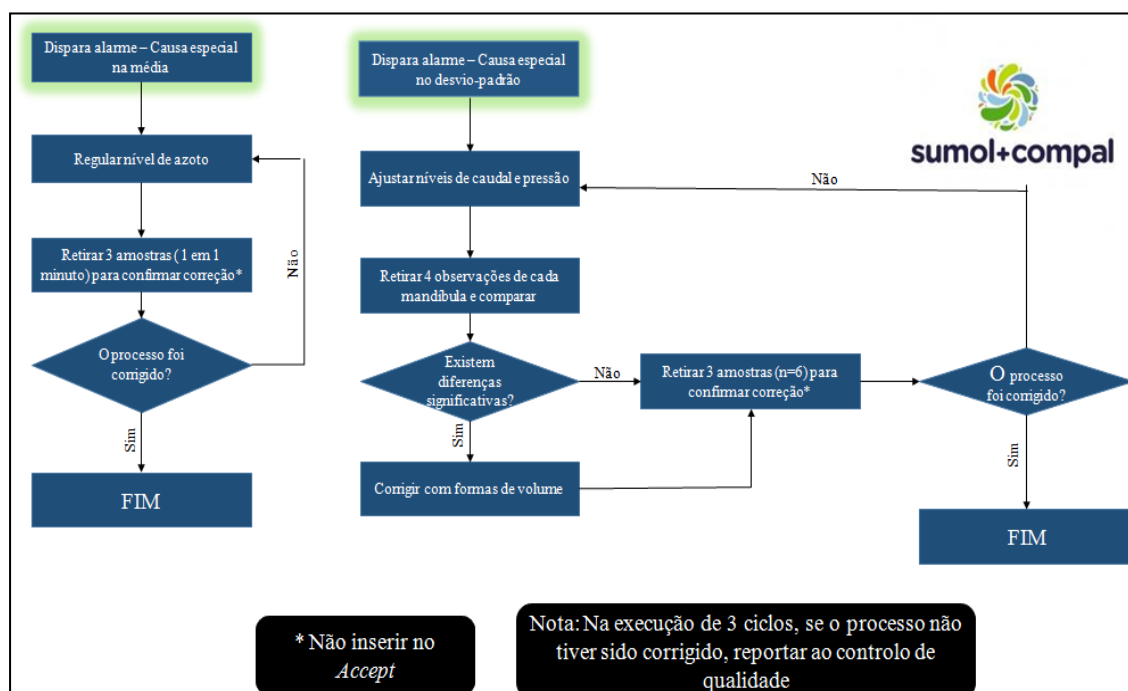


Figura 4.25 Esquema de apoio à decisão

Foi criado um esquema (figura 4.25) com o objetivo de suportar a formação, bem como para formalizar o plano de ação aquando a ocorrência de uma causa especial. Outra função importante é concretizar fisicamente a obrigatoriedade em não descurar este aspeto aquando o Controlo Estatístico do processo.

Em relação à média o controlo não é complexo e não se adianta muito do que já foi escrito. Em relação ao desvio-padrão, o cenário é diferente, porque existem duas causas principais possíveis. Na formação foi explicado, apenas observando os valores de uma amostra que eventualmente apresentasse uma causa especial de variação, como detetar que causa estaria presente ou se ambas ocorriam.

<b>Situação 1:</b>	1001,83	1004,71	998,37	1001,92
<b>Situação 2:</b>	1005,84	1000,20	1001,39	1006,04

Na situação 1, observa-se (empiricamente) que um valor é um *outlier* da amostra. Isto indicia que o problema advém das formulações, sendo necessário a regulação dos valores de caudal e pressão para os indicados. Na situação 2, observa-se (empiricamente) uma diferença entre os dois pares de valores, o que indicia um desalinhamento entre as mandíbulas. A metodologia implementada e que está expressa no fluxograma tenta simplificar a identificação da causa: assim que é detetada uma causa especial, a primeira ação é verificar em conjunto com as formulações os valores de caudal e pressão e, se necessário, ajustar. Depois disso, tirar quatro observações de cada mandíbula e, empiricamente, verificar se existem diferenças significativas. Se sim, é necessário corrigir com chapas de compensação e após esse procedimento retirar 3 amostras (n=4) para confirmar que o processo foi corrigido. Se o desvio-padrão for próximo do estipulado (1,5 ml) o processo foi corrigido; caso contrário, ocorreu algum erro de execução e o procedimento terá que ser novamente concretizado. Se após três ciclos nos quais, eventualmente, não se verificarem a correção do processo, deve-se reportar ao controlo de qualidade para uma análise do problema de forma mais detalhada. De realçar que as observações retiradas com o objetivo de corrigir o processo, não devem ser colocadas no *software Accept*, de forma a não haver sobreposição entre controlar e corrigir e que um dos aspetos considerados na execução do fluxograma foi o mesmo estar adequado quando surgirem falsos alarmes.

#### 4.4.4. Resultado do Teste Piloto e sua análise

Com o objetivo de comprovar o efeito das medidas de melhoria no problema em estudo, foi realizado um ensaio nas quatro máquinas, após a implementação das mesmas. Através das amostras registradas no *Accept*, e sem aviso aos operadores, foram retiradas 100 amostras e calculados os parâmetros do processo e os índices de capacidade, através da utilização da Fase 1 das cartas de controle para a média e o desvio-padrão. A verificação da Normalidade das observações encontra-se no Anexo H. Foram comparados, para cada máquina, o nível *Sigma* observado, o nível *Sigma* médio calculado na fase “measure” e o nível sigma que a equipa se propôs a atingir e que foi registado no “Project Charter”.

**Tabelas 4.29 Resultados do teste-piloto**

Máquina	D	Máquina	E	Máquina	F	Máquina	G
$\mu$	1000.38	$\mu$	1000.83	$\mu$	1001,03	$\mu$	330.73
$\bar{S}$	1.33	$\bar{S}$	1.53	$\bar{S}$	1,48	$\bar{S}$	1.05
$\sigma$	1.45	$\sigma$	1.66	$\sigma$	1,61	$\sigma$	1.14
$LSC\bar{X}$	1002.55	$LSC\bar{X}$	1003.33	$LSC\bar{X}$	1003,44	$LSC\bar{X}$	332.44
$LIC\bar{X}$	998.20	$LIC\bar{X}$	998.34	$LIC\bar{X}$	998,62	$LIC\bar{X}$	329.02
LSCS	3.04	LSCS	3.47	LSCS	3,35	LSCS	2.38
LICS	0	LICS	0	LICS	0	LICS	0
LSE	1007.5	LSE	1007.25	LSE	1007.25	LSE	335
LIE	992.5	LIE	992.5	LIE	992.5	LIE	325
Cp	1.72	Cp	1.5	Cp	1.56	Cp	1.46
Cpk	1.64	Cpk	1.34	Cpk	1.34	Cpk	1.25

A partir dos valores retirados das tabelas, calculou-se o nível sigma observado nos testes-piloto, de forma análoga à realizada na fase “Measure”.

**Tabela 4.30 Cálculo do nível *Sigma* a partir dos resultados dos testes-piloto**

	Máquina D	Máquina E	Máquina F	Máquina G
$\mu$	1000.38	1000.83	1001.03	330.73
$\sigma$	1.45	1.66	1.61	1.14
$P(X > 1007,5) + P(X < 992,5)$	4.82E-07	2.96E-05	2.93E-05	9.02E-05
DPMO	0.48	29.60	29.33	90.23
Nível sigma	6.2	5.4	5.4	5.2

**Tabela 4.31 Comparação do Nível *Sigma* na fase “Measure”, esperado e atingido**

	Nível Sigma "Measure"	Nível sigma esperado	Nível sigma atingido
Máquina D	4.31	6.4	6.2
Máquina E	4.24	6.4	5.4
Máquina F	4.39	6.4	5.4
Máquina G	4.43	6.4	5.2

Os operadores não foram informados acerca da realização dos quatro testes, para aproximar os resultados de um contexto real. Os mesmos ilustram, nas quatro máquinas, uma clara melhoria em relação à fase “Measure”, no entanto apenas a máquina D alcançou os objetivos definidos no “Project Charter”. Concluiu-se a partir dos testes- piloto o sucesso das medidas implementadas, havendo, no entanto, uma diferença entre os valores do nível *Sigma* atingido nas quatro máquinas, explicadas por se tratarem de lotes diferentes, operadores diferentes e máquinas diferentes. Observando as cartas de controlo e cálculos auxiliares (que se encontram na pasta “Cartas de Controlo dos testes-piloto” no CD entregue) que deram origem aos resultados, constata-se ainda se detetam alguns erros no que diz respeito essencialmente ao controlo da média (demora no ajuste), os quais não foram propositadamente alertados até ao final do teste.

## 4.5 Controlar

As ações de melhoria não garantem, só por si, a continuidade que é esperada com a execução deste projeto. Num contexto fabril, se não houver um controlo dessas medidas, bem como uma uniformização e formalização, as mesmas perdem-se no decorrer do tempo e o problema volta a surgir. Um exemplo disso pode ser observado nas cartas de controlo que deram origem aos dados que sustentam o teste-piloto: ainda que nelas esteja explícita uma melhoria clara no que diz respeito ao controlo dos parâmetros do processo, ainda subsistem alguns erros que têm que ser corrigidos no processo de controlo e melhoria contínua.

Em relação ao enviesamento da média, a identificação e correção são simples, mas no que diz respeito ao desvio-padrão, a identificação do problema é mais complexa. Este processo só é possível com um acompanhamento contínuo por parte do controlo de qualidade do laboratório da Sumol+Compal. Esse acompanhamento traduz-se em três tarefas concretas:

- A monitorização constante através do Software *Accept* instalado em alguns computadores do laboratório;
- Uma formação contínua, quer da parte de operadores mais experientes, quer por parte de técnicos e responsáveis pelo controlo da qualidade;
- Auditorias internas que permitem, de uma forma formal, avaliar as repercussões deste projeto a longo-prazo, bem como corrigir eventuais erros.

É fundamental que seja realizada uma constante observação e análise das cartas de controlo, supervisionando e assegurando que o controlo do desvio-padrão não é novamente descurado, bem como as questões relacionadas com a média. Sempre que se perceba que as causas especiais não são pontuais ou não são corrigidas e que há uma tendência (regras de deteção de causas especiais), deve-se ir ao terreno para modificar esta situação. Em segundo lugar, é



necessário controlar a adaptação dos operadores às alterações no Software, principalmente às que não foram implementadas antes da formação no terreno, visto que quando elas forem implementadas, os limites para a média vão ser mais “apertados” e, por isso, é redobradamente importante um controlo contínuo por parte dos responsáveis pelo Controlo da Qualidade.

## 5. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Aplicação do ciclo DMAIC da metodologia Seis *Sigma* na Sumol+Compal melhorou a capacidade dos processos que faziam parte do projeto, ou seja, o seu nível *Sigma* aumentou. Devido ao centramento da média, este projeto permitiu também reduzir o sobreenchimento. O processo onde se constatou o aumento mais significativo foi na máquina D. As diferenças entre o nível *Sigma* calculado após a implementação das medidas de melhoria nos processos são devidas aos operadores serem diferentes e ao próprio equipamento ser diferente. O nível *Sigma* traçado como objetivo era de 6,4, um valor que a equipa sabia, de antemão, ser muito difícil alcançar e que era superior ao valor “normal” num projeto deste tipo. No entanto, decidiu-se estabelecer este valor, porque corresponde a um Cpk igual a 1,67, apenas possível de ser alcançado com um processo absolutamente centrado e com um valor específico do desvio-padrão.

Depois de se definirem as causas responsáveis pelo problema, surgiu um dos grandes desafios deste projeto, que foi a implementação das medidas de melhoria. Quaisquer ações de mudança pressupõem um tempo de adaptação e alguma resistência. Foi um trabalho gradual, que culminou com a concretização do objetivo principal.

Este projeto foi também importante na demonstração do sucesso da metodologia, neste caso aplicada aos processos de enchimento em formato de cartão da Sumol+Compal (nas máquinas que enchem embalagens de um litro e trezentos e trinta mililitros) e espera-se, que no futuro, a mesma seja utilizada como suporte para solucionar eventuais problemas que a Unidade se depare, uma vez que se trata de uma metodologia versátil que pode ser aplicada em diversos contextos, com um elevado histórico de metas atingidas. Contudo, nunca é demais realçar que os resultados positivos do teste-piloto neste projeto, apenas garantem que as causas foram corretamente identificadas e que as medidas de melhoria surtiram efeito. Para assegurar a continuidade, é fundamental que sejam aplicadas internamente as atividades descritas na fase “Controlar” do ciclo DMAIC.

Uma ilação importante a reter é a diferença entre a Estatística e o designado “chão de fábrica”. A simbiose entre estes dois conceitos foi, sem dúvida, o maior desafio deste projeto. Na fase “melhorar”, as medidas propostas são quase todas empíricas e foram traçadas com o objetivo de facilitar a adaptação ao quotidiano da empresa, mas ainda assim implicaram algumas mudanças, sobretudo de mentalidade, apoiadas no conceito de “melhoria contínua”. Quando as medidas foram delineadas, bem como a forma de serem implementadas, o objetivo principal foi que

surtissem efeito no resultado que se pretendia alcançar e que fossem concretizadas dentro das datas planeadas. Uma das sugestões para trabalhos futuros prende-se com esta questão e aponta para um *upgrade* do *Software Accept* responsável pelo Controlo Estatístico de processos, que contemple uma formalização digital das práticas esquematizadas na figura 4.26. Este *upgrade* contemplaria um espaço para que, quando existisse uma causa especial da média e/ou do desvio-padrão, esta fosse imediatamente registada bem como a ação corretiva correspondente.

Outra sugestão para futuros trabalhos é a aplicação desta metodologia no aumento da qualidade do processo de enchimento de vegetais, uma vez que apresenta, empiricamente, um elevado desvio-padrão. Para este problema é necessário um conhecimento técnico do equipamento em questão.

Propõe-se ainda considerar a implementação de cartas que permitam aumentar a sensibilidade do Controlo Estatístico, detetando pequenas e moderadas alterações nos parâmetros dos processos. Um exemplo são as cartas CUSUM e EWMA, cuja implementação apenas tem associados os custos da mão-de-obra. No entanto, esta implementação só deve ser concretizada quando as alterações e as melhorias conseguidas com este projetos, estejam solidamente integradas no quotidiano da empresa.

## Referências Bibliográficas

- Afonso, A. (Novembro de 2006). Metodologia HACCP . *Segurança e Qualidade Alimentar*.
- Andersson, R., H., E., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, Six Sigma e Lean. *The TQM Magazine* , 18(3), 282-296-
- Antunes, S. (1994). Metrologia e Qualidade. *Instituto Português da Qualidade (IPQ)* .
- Articles: *Food industry standards focus on HACCP*. (Fevereiro de 2013). Obtido em 11 de Dezembro de 2016, de eufic: <http://www.eufic.org/article/pt/artid/Food-industry-standards-focus-on-HACCP>.
- Chowdhury, S. (2002). *Design for Six Sigma*. London: Financial Times Prentice Hall.
- Coronado, R., & Antony, J. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *The TQM Magazine* , 14 (2), 92-99.
- Cronemyr, P. (2007). DMAIC and DMADV – differences, similarities and synergies. *International Journal Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 3, No. 3, , 193-209.
- Decreto Lei n.º 199/2008 de 8 de Outubro
- Desai, T., & Shrivastava, R. (2008). Six Sigma – A New Direction to Quality and productivity management. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008* , San Francisco USA.
- Ferrão, F. (2014). Aplicação da Metodologia Lean Seis Sigma na Otimização do Nível de Stocks: Caso de Estudo na Indústria Vidreira. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal.
- Gaspar, A. (2015). Aplicação do Seis Sigma na Avaliação da Inexatidão dos Resultados Laboratoriais do Parâmetro Cortisol Sérico. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal.
- Hans, G. J., Hill, W. J., & Zinkgraf, S. A. (1999). The impact of Six Sigma improvement - A glimpse into the future of Statistics. *American Statistical Association* .
- Harry, M. (1998). *The vision of six sigma*. Phoenix, Arizona: Tri Star Publishing.
- Juran, J., & Gryna, F. (1993). *Controle da Qualidade Handbook*, 4ªed, Volume VI Brasil: Makron Books do Brasil Editora Lda.
- Karthi, S., Devadasan, S. R., Muruges, R., Sreenivasa, C. G., & Sivaram, N. M. (2012). Global views on integrating Six Sigma and ISO 9001 certification. *Total Quality Management & Business Excellence* ,23, 237-262.
- Klefsjö, B., Wiklund, H., & Edgeman, R. L. (2001). *Six Sigma seen as a methodology for Total Quality Management*, Measuring Business Excellence, 1ªEdição, Volume III.

- Lawler, E. (1997). *From the Ground Up: Six Principles for Building the New Logic Corporation*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Linderman, K. (2003). Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management* , 21 (2), 193-203.
- Lucas, J. (2002). The essential Six Sigma. *American Society for Quality* , 3 (5), 574-578.
- Lucinda, M. (2010). *Qualidade: Fundamentos e práticas para cursos de graduação, 1ª edição*, Rio de Janeiro: Brasport.
- Maguad, B. A. (2006). The modern quality movements: Origins, development and trends. *Total Quality Management & Business Excellence*, 17 (2), 179-203.
- Martins, R. (2013). *Gestão de Processos*. Obtido em 26 de Dezembro de 2016, de Blog da Qualidade: <http://www.blogdaqualidade.com.br/mapa-do-processo/>
- Massey, F. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association* , 46 (253), 68-78.
- Mckenzie, E. (2009). *Lean vs Six Sigma: What is the difference?* Obtido em 17 de Dezembro de 2016, de Ultimus: <http://www.ultimus.com/blog/bid/33875/lean-vs-six-sigma-what-s-the-difference>
- Monaghan, E. C. (2016). Soon we won't program computers. We'll train them like dogs. *Wired* .
- Montgomery, D. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control, 3ªed.* EUA: John Wiley and Sons.
- Montgomery, D., & Woodall, W. (2008). An overview of six sigma. *International Statistical Review* , 76, 329-346.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Other Top Companies are Honing their Performance*. New York: McGraw-Hill Professional.
- Park, S. H. (2003). Six Sigma Overview. In S. H. Park, *Six Sigma for Quality and Productivity Promotion* (p. 206). Tokyo, Japan: Asian Productivity Organization.
- Pereira, Z., & Requeijo, J. (2012). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos 2ª Edição*. Caparica: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Periard, G. (2009). *Ferramentas de Gestão*. Obtido em 4 de Janeiro de 2017, de Sobre Administração: <http://www.sobreadministracao.com/o-que-e-o-5w2h-e-como-ele-e-utilizado/>
- Pierce, F. (2011). *Procurement*. Obtido em 14 de Dezembro de 2016, de Supply Chain: <http://www.supplychaindigital.com/procurement/2068/Motorolas-Six-Sigma-Journey:-In-pursuit-of-perfection>.
- Portaria 1198/91 de 18 de Dezembro
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma handbook*, 3ª Edição, McGraw Hill.

Sadagopan, P., Devadasan, S., & Goyal, S. (2005). Three Six Sigma transitions and organisational preparedness exercise – today's imperatives for tomorrow's success. *International Journal Six Sigma and Competitive Advantage*, Vol. 1, No. 2, 1, 134-150.

Santos, R. (2011). *O que é mapeamento de processos?* Obtido em 26 de Dezembro de 2016, de Inovação, Sustentabilidade e Tecnologia: <http://www.rildosan.com/2011/06/o-que-e-mapeamento-de-processo.html>

Schmidt, S., Launsby, R., & Kiemele, M. (1997). *Understanding industrial designed experiments*. Colorado Springs, Colo.: Air Academy Press.

Schroeder, R., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26, 536 - 554.

Seaw, K. W., & Young, S. T. (1996). A Quality Definition Continuum, *Journal of Quality Management*, 5, 5-26.

Serviços. (s.d.). Obtido em 27 de Dezembro de 2016, de Aferymed: [http://www.aferymed.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=78&Itemid=233](http://www.aferymed.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=233)

Silva, J. G. (2014). Obtido em 25 de November de 2016, de Segredos da Estatística: [https://www.google.pt/search?q=distribui%C3%A7%C3%A3o+normal&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid-8u73avSAhXoslQKHfJ-BR4Q\\_AUIBigB#imgdii=XaQAgsbWJWe\\_IM:&imgsrc=-4He8v\\_yiQRShM](https://www.google.pt/search?q=distribui%C3%A7%C3%A3o+normal&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid-8u73avSAhXoslQKHfJ-BR4Q_AUIBigB#imgdii=XaQAgsbWJWe_IM:&imgsrc=-4He8v_yiQRShM):

Smith, R. (2014). Is six Sigma killing your company's future? *Forbes*, (<https://www.forbes.com/sites/ricksmith/2014/06/11/is-six-sigma-killing-your-companys-future/#240753d3663a>).

Sokovic, M., Jovanovic, J., Krivokapic, Z., & Vujovic, A. (2009). Basic Quality Tools in Continuous Improvement Proces. *Journal of Mechanical Engineering*, 55 (5) 1-9.

Sousa, C. (2008). Categorias da metrologia. *CATIM, centro de apoio tecnológico à indústria metalomecânica*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal.

Taghizadegan, S. (2010). *Essentials of Lean Six Sigma*. Amesterdam; Boston: Elsevier Science.

Taguchi, G. (1986). *Introduction to quality Engineering: designing quality into products and processes*. Tokio: Asian Productivity Organization.

Tomkins, R. (1997). GE beats expected 13% rise, 13th International Symposium in Management, *Finantial Times*, vol 221, 308-316.

Vieira, J. (2001). *Controlo Estatístico do Processo, 1º ed.* Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

Watson, G. (2005). *Design for Six Sigma. Innovation for Enhanced Competitiveness*. Salem, NH: GOAL/QPC Publishing.

Werkema, C. (2006). *Lean Seis Sigma - Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing (volume 4)*. Belo Horizonte, Brasil: WERKEMA Editora Ltda.

Werkema, C. (2004). Criando a cultura Seis Sigma ( Volume 1). In C. Werkema, *Seis Sigma*. Nova Lima, Brasil: Werkema Editora Ltda.

Yeung, S. (2009). Using Six Sigma – SIPOC for customer satisfaction. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage*, 5 (4), 312 - 324.

## Anexos

### Anexo A: Cartas de controlo da fase Definir

Os cálculos que auxiliaram a construção das cartas encontram-se no CD entregue, na pasta “Cálculos auxiliares, fase 2”. Nesse documento, encontram-se também as regras para deteção de padrões não aleatórios, enumeradas da mesma forma que no capítulo 2. 4.15. As fórmulas utilizadas para o cálculo dos limites encontram-se no mesmo capítulo.

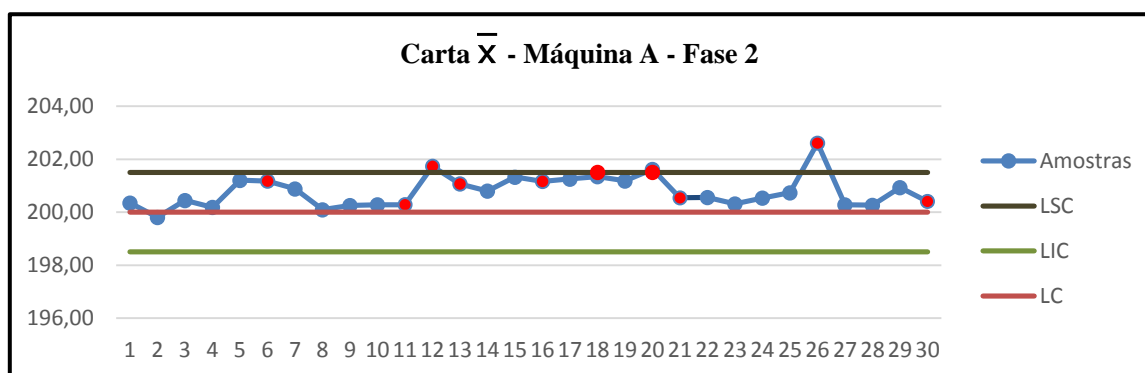


Figura A.3 Carta  $\bar{X}$ , Máquina A, Fase 2

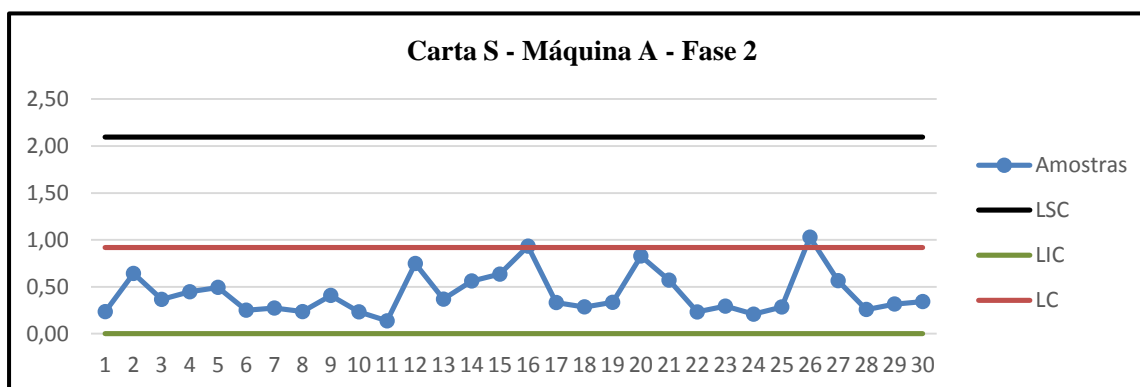


Figura A.2 Carta S, Máquina A, Fase 2

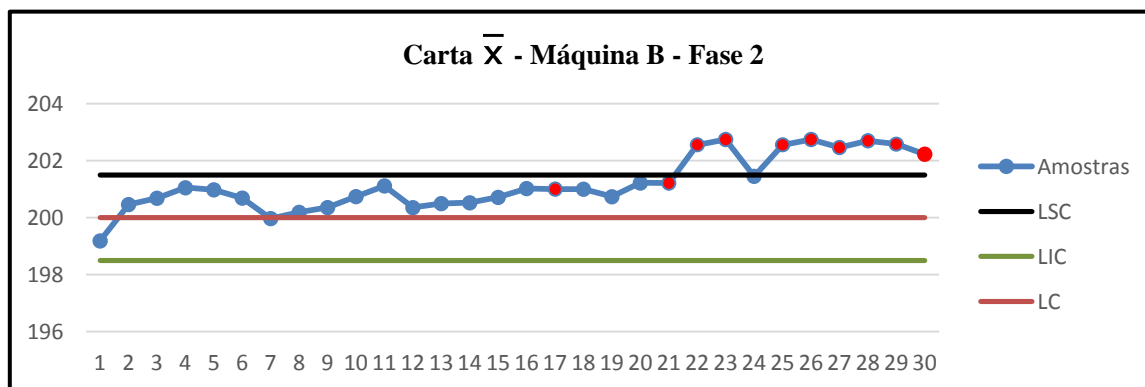
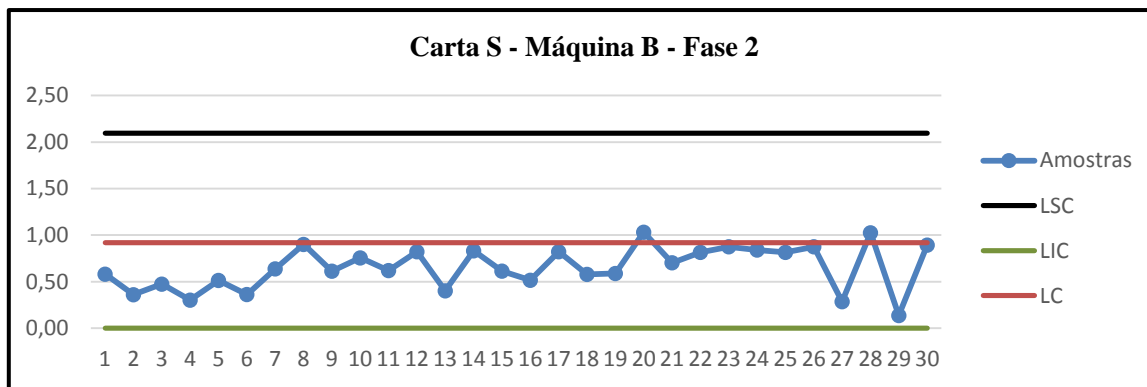
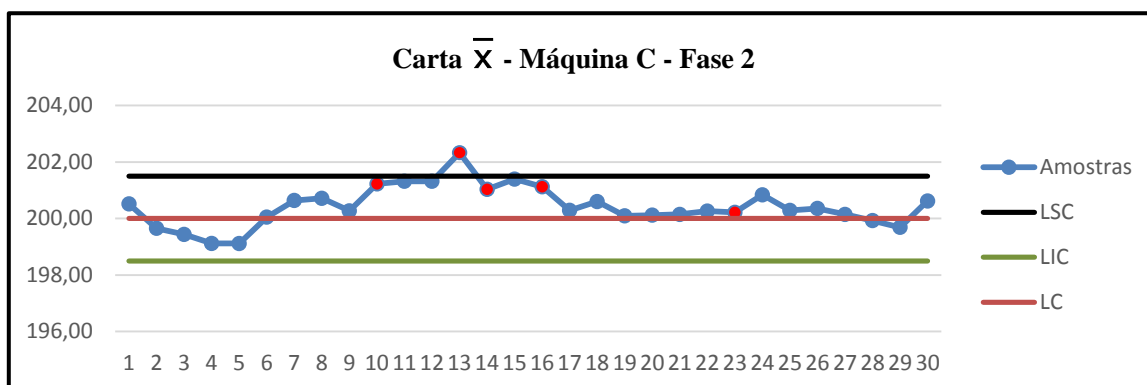


Figura A.1 Carta  $\bar{X}$ , Máquina B, Fase 2

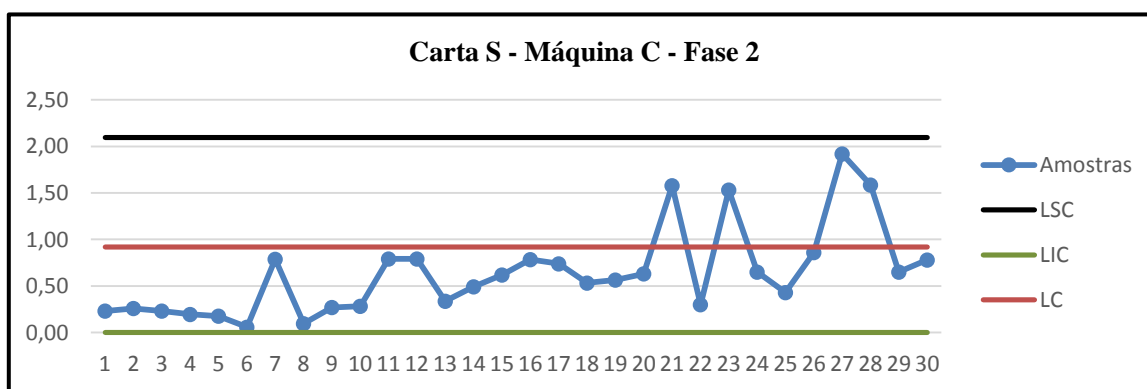




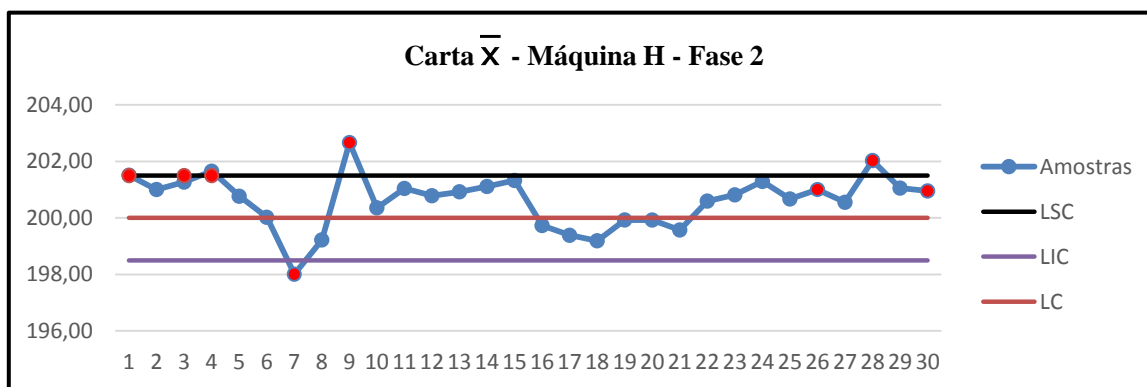
**Figura A.5 Carta S, Máquina B, Fase 2**



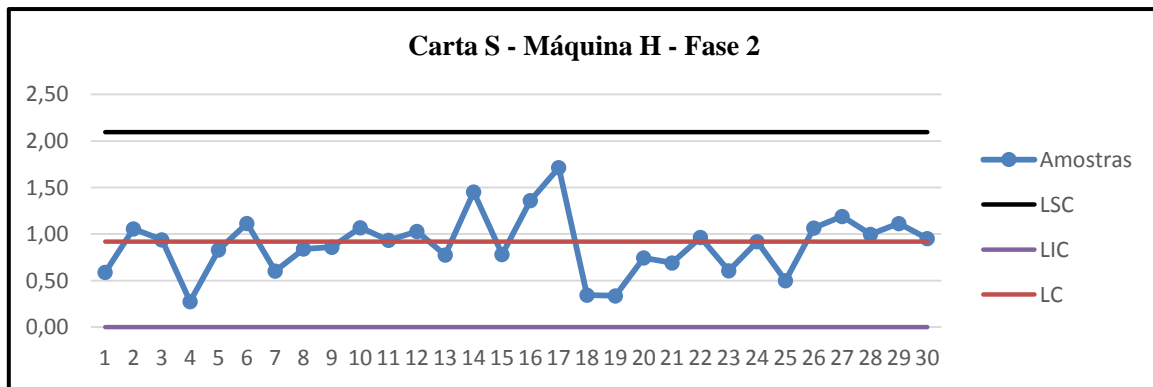
**Figura A.4 Carta  $\bar{X}$ , Máquina C, Fase 2**



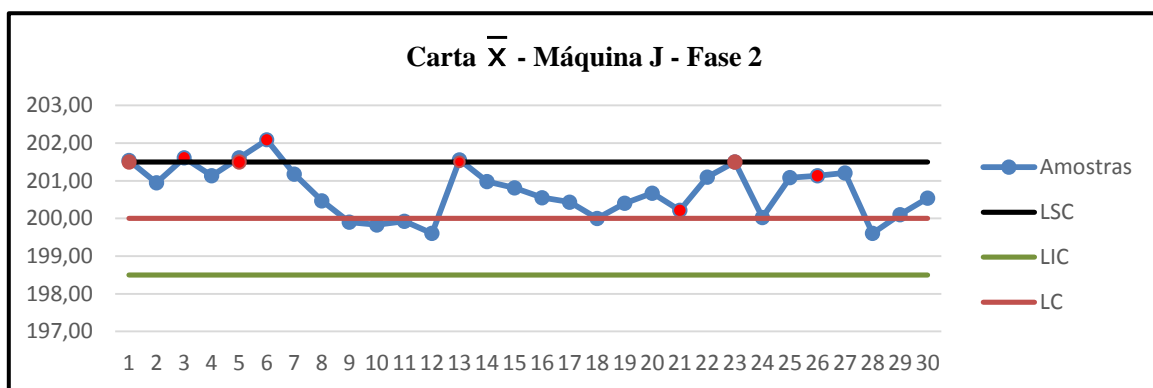
**Figura A.7 Carta S, Máquina C, Fase 2**



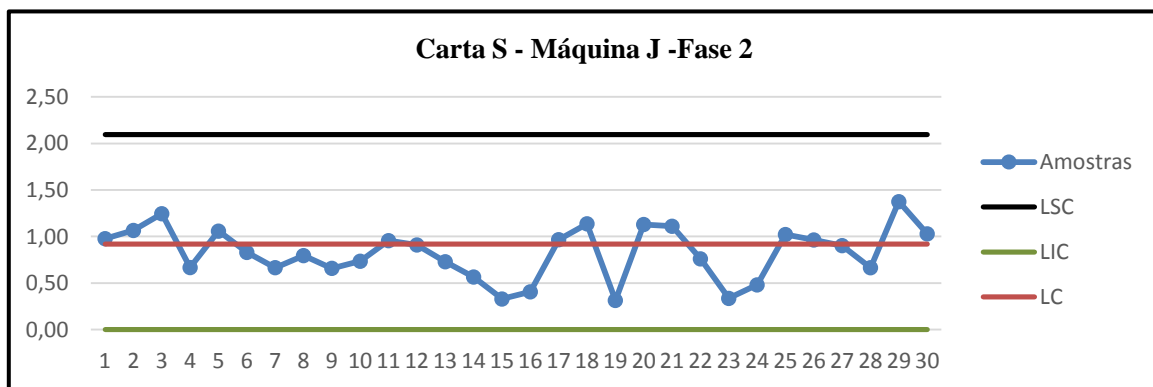
**Figura A.6 Carta  $\bar{X}$ , Máquina H, Fase 2**



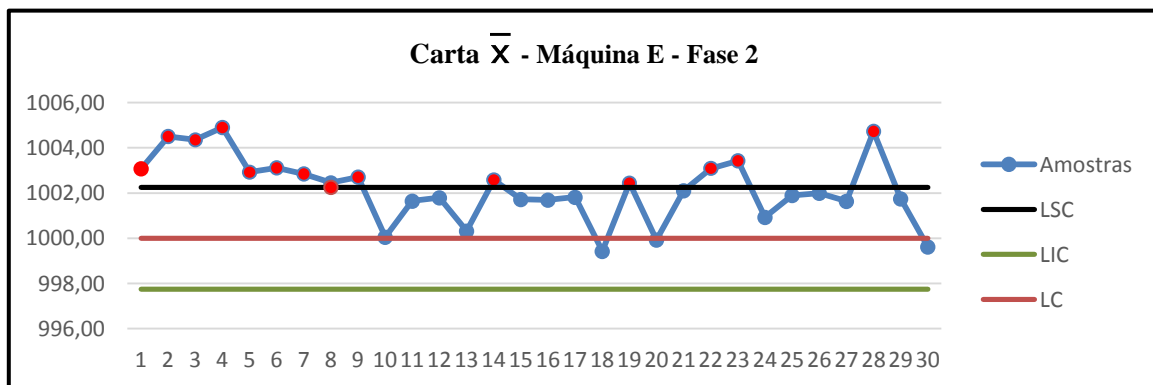
**Figura A.11 Carta S, Máquina H, Fase 2**



**Figura A.10 Carta  $\bar{x}$ , Máquina J, Fase 2**



**Figura A.9 Carta S, Máquina J, Fase 2**



**Figura A.8 Carta  $\bar{x}$ , Máquina E, Fase 2**

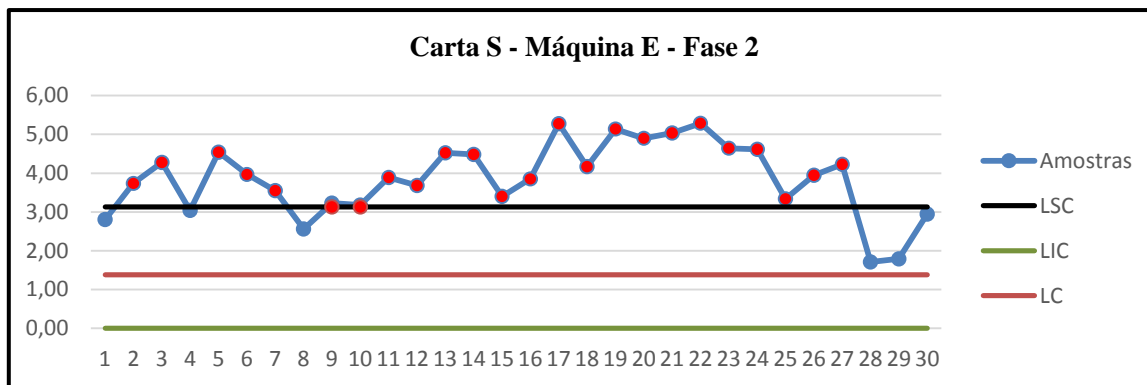


Figura A.15 Carta S, Máquina E, Fase 2

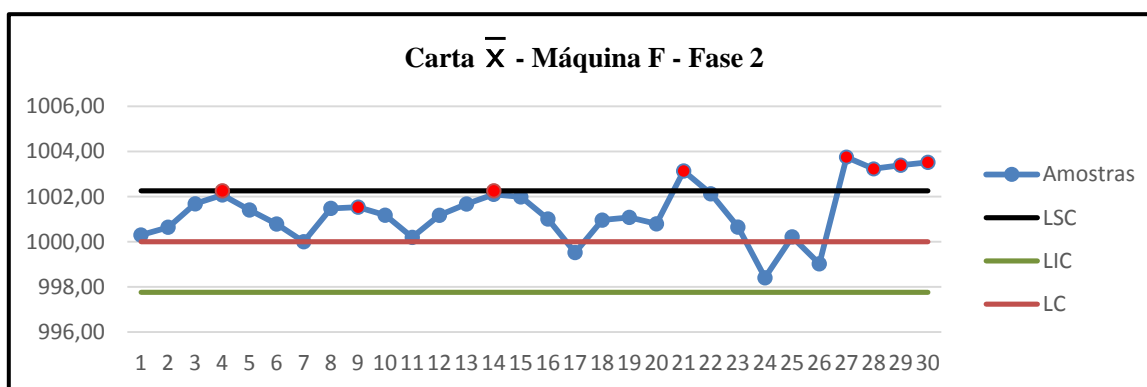


Figura A.14 Carta  $\bar{x}$ , Máquina F, Fase 2

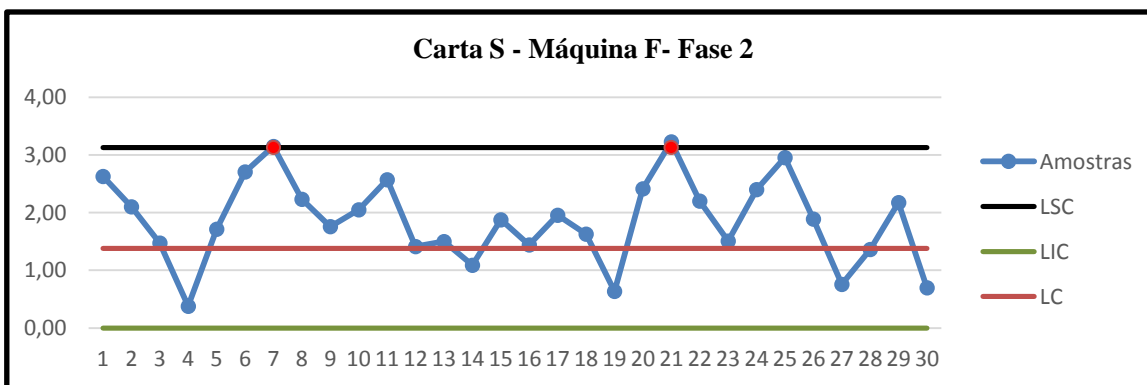


Figura A.13 Carta S, Máquina F, Fase 2

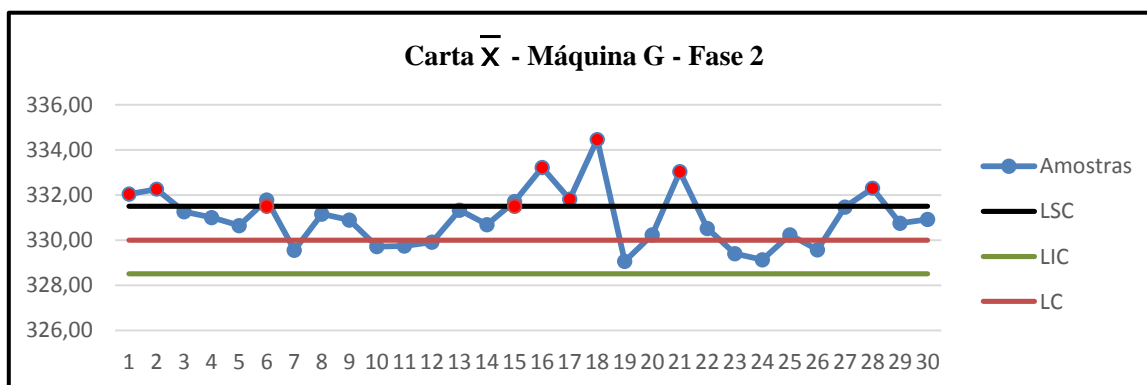


Figura A.12 Carta  $\bar{x}$ , Máquina G, Fase 2

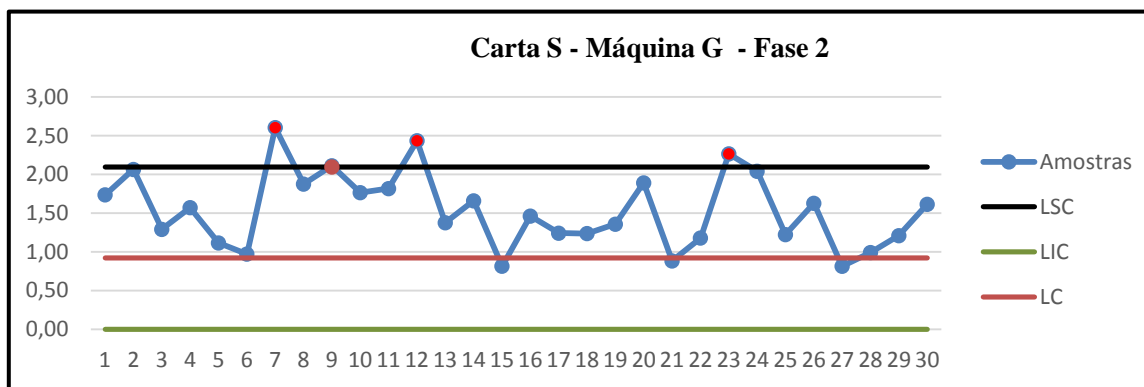


Figura A.16 Carta S, Máquina G, Fase 2

## Anexo B : Teste de Kolmogorov – Smirnov para os dados relativos

Segue-se a análise da Normalidade relativa aos dados da máquina D, que foram utilizados para a estimativa dos parâmetros do processo para cada quinzena. Para as restantes máquinas (E, F e G) a análise encontra-se no CD, na pasta “Análise Normalidade Cartas Fase 1”.

Tabela B.1 Análise Normalidade Máquina D

Horizonte temporal	Dimensão	Ks	Ks critic	Conclusão
2ª Janeiro	50	0.121	0.125	Normal
2ª Janeiro	100	0.010	0.089	Normal
2ª Janeiro	150	0.057	0.072	Normal
2ª Janeiro	200	0.061	0.063	Normal
2ª Janeiro	250	0.047	0.056	Normal
2ª Janeiro	300	0.035	0.051	Normal
2ª Janeiro	350	0.041	0.047	Normal
2ª Janeiro	400	0.034	0.044	Normal
2ª Janeiro	450	0.037	0.042	Normal
2ª Janeiro	500	0.036	0.040	Normal
2ª Janeiro	540	0.036	0.038	Normal
1ª Fevereiro	50	0.109	0.125	Normal
1ª Fevereiro	100	0.050	0.089	Normal
1ª Fevereiro	150	0.057	0.072	Normal
1ª Fevereiro	200	0.061	0.063	Normal
1ª Fevereiro	250	0.047	0.056	Normal
1ª Fevereiro	300	0.035	0.051	Normal
1ª Fevereiro	350	0.041	0.047	Normal
1ª Fevereiro	400	0.039	0.044	Normal
1ª Fevereiro	450	0.038	0.042	Normal
1ª Fevereiro	500	0.036	0.040	Normal

**Tabela B.2 Análise Normalidade Máquina D (Continuação)**

<b>1ª Fevereiro</b>	540	0.036	0.038	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	50	0.114	0.125	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	100	0.068	0.089	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	150	0.064	0.072	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	200	0.062	0.063	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	250	0.051	0.056	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	300	0.042	0.051	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	350	0.041	0.047	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	400	0.035	0.044	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	450	0.041	0.042	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	500	0.038	0.040	Normal
<b>2ª Fevereiro</b>	580	0.031	0.037	Normal
<b>1ª Março</b>	50	0.121	0.125	Normal
<b>1ª Março</b>	100	0.078	0.089	Normal
<b>1ª Março</b>	150	0.058	0.072	Normal
<b>1ª Março</b>	200	0.035	0.063	Normal
<b>1ª Março</b>	250	0.040	0.056	Normal
<b>1ª Março</b>	300	0.046	0.051	Normal
<b>1ª Março</b>	350	0.035	0.047	Normal
<b>1ª Março</b>	400	0.040	0.044	Normal
<b>1ª Março</b>	450	0.031	0.042	Normal
<b>1ª Março</b>	500	0.032	0.040	Normal
<b>1ª Março</b>	550	0.031	0.038	Normal
<b>1ª Março</b>	576	0.03	0.037	Normal
<b>2ª Março</b>	50	0.054	0.125	Normal
<b>2ª Março</b>	100	0.034	0.089	Normal
<b>2ª Março</b>	150	0.024	0.072	Normal
<b>2ª Março</b>	200	0.021	0.063	Normal
<b>2ª Março</b>	250	0.019	0.056	Normal
<b>2ª Março</b>	300	0.021	0.051	Normal
<b>2ª Março</b>	350	0.018	0.047	Normal
<b>2ª Março</b>	400	0.027	0.044	Normal
<b>2ª Março</b>	450	0.034	0.042	Normal
<b>2ª Março</b>	500	0.023	0.040	Normal
<b>2ª Março</b>	544	0.020	0.038	Normal
<b>1ª Abril</b>	50	0.110	0.125	Normal
<b>1ª Abril</b>	100	0.057	0.089	Normal
<b>1ª Abril</b>	150	0.061	0.072	Normal
<b>1ª Abril</b>	200	0.061	0.063	Normal
<b>1ª Abril</b>	250	0.051	0.056	Normal
<b>1ª Abril</b>	300	0.045	0.051	Normal
<b>1ª Abril</b>	350	0.041	0.047	Normal

**Tabela B.3 Análise Normalidade Máquina D (Continuação)**

<b>1ª Abril</b>	400	0.041	0.044	Normal
<b>1ª Abril</b>	450	0.039	0.042	Normal
<b>1ª Abril</b>	516	0.034	0.039	Normal
<b>2ª Abril</b>	50	0.086	0.125	Normal
<b>2ª Abril</b>	100	0.081	0.089	Normal
<b>2ª Abril</b>	150	0.063	0.072	Normal
<b>2ª Abril</b>	200	0.054	0.063	Normal
<b>2ª Abril</b>	250	0.052	0.056	Normal
<b>2ª Abril</b>	300	0.043	0.051	Normal
<b>2ª Abril</b>	350	0.047	0.047	Normal
<b>2ª Abril</b>	400	0.038	0.044	Normal
<b>2ª Abril</b>	450	0.039	0.042	Normal
<b>2ª Abril</b>	500	0.032	0.040	Normal
<b>2ª Abril</b>	564	0.032	0.037	Normal
<b>1ª Maio</b>	50	0.110	0.125	Normal
<b>1ª Maio</b>	100	0.082	0.089	Normal
<b>1ª Maio</b>	150	0.064	0.072	Normal
<b>1ª Maio</b>	200	0.058	0.063	Normal
<b>1ª Maio</b>	250	0.051	0.056	Normal
<b>1ª Maio</b>	300	0.043	0.051	Normal
<b>1ª Maio</b>	350	0.037	0.047	Normal
<b>1ª Maio</b>	400	0.030	0.044	Normal
<b>1ª Maio</b>	450	0.038	0.042	Normal
<b>1ª Maio</b>	500	0.021	0.040	Normal
<b>1ª Maio</b>	550	0.020	0.038	Normal
<b>1ª Maio</b>	584	0.026	0.037	Normal
<b>2ª Maio</b>	50	0.070	0.125	Normal
<b>2ª Maio</b>	100	0.062	0.089	Normal
<b>2ª Maio</b>	150	0.052	0.072	Normal
<b>2ª Maio</b>	200	0.053	0.063	Normal
<b>2ª Maio</b>	250	0.041	0.056	Normal
<b>2ª Maio</b>	300	0.034	0.051	Normal
<b>2ª Maio</b>	350	0.042	0.047	Normal
<b>2ª Maio</b>	400	0.041	0.044	Normal
<b>2ª Maio</b>	450	0.034	0.042	Normal
<b>2ª Maio</b>	500	0.029	0.040	Normal
<b>2ª Maio</b>	550	0.033	0.038	Normal
<b>2ª Maio</b>	592	0.031	0.036	Normal

## Anexo C : Histogramas que resumem a evolução dos parâmetros e índices de capacidade dos processos

Seguem-se os histogramas que para as máquinas E, F e G, ilustram a evolução dos parâmetros do processo (média e desvio-padrão) e dos respectivos índices de capacidade ( $c_p$  e  $c_{pk}$ ), bem como um quadro que sistematiza os resultados apurados dos parâmetros e índices. Destes quadros consta também o relativo à máquina D, não presente no corpo principal da dissertação.

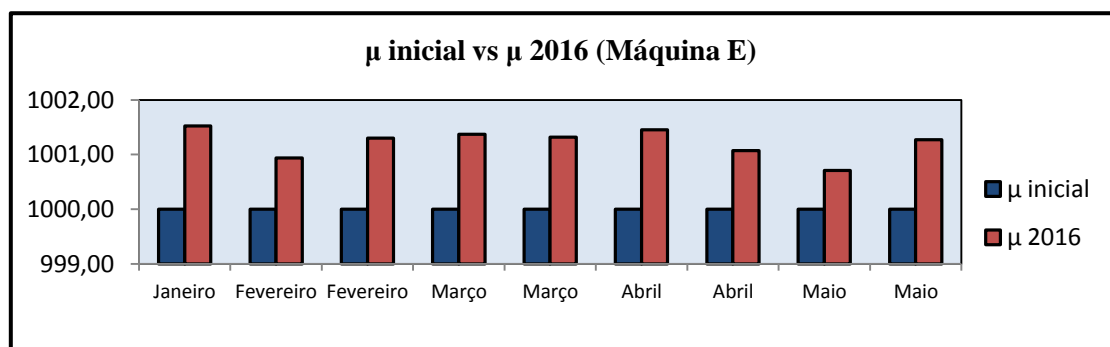
**Tabela C.1 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina D**

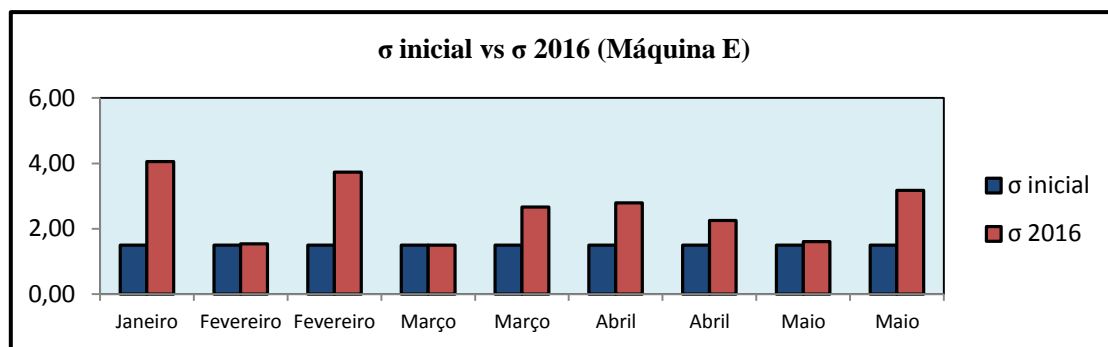
Mês	1ª Janeiro	2ª Janeiro	1ª Fevereiro	2ª Fevereiro	1ª Março	2ª Março	1ª Abril	2ª Abril	1ª Maio	2ª Maio
$\mu$ inicial		1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
$\mu$ 2016		1000.95	1001.09	1001.36	1001.41	1001.05	1001.65	1001.52	1001.63	1001.20
Percentagem desvio		0.10	0.11	0.14	0.14	0.10	0.16	0.15	0.16	0.12
$\sigma$ padrão inicial		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
$\sigma$ 2016		1.44	2.08	1.96	1.72	2.62	2.36	2.98	2.76	3.08
Percentagem desvio		4.00	38.67	30.67	14.67	74.67	57.33	98.67	84.00	105.33
$C_p$ inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
$C_p$ 2016		1.74	1.20	1.28	1.45	0.95	1.06	0.84	0.91	0.81
$C_{pk}$ inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
$C_{pk}$ 2016		1.52	1.03	1.04	1.18	0.82	0.83	0.67	0.71	0.68

**Tabela C.2. Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina E**

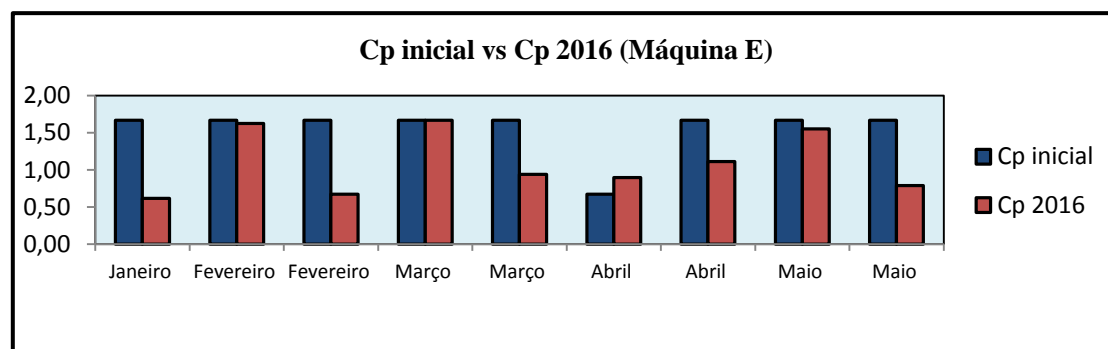
Mês	1ª Janeiro	2ª Janeiro	1ª Fevereiro	2ª Fevereiro	1ª Março	2ª Março	1ª Abril	2ª Abril	1ª Maio	2ª Maio
$\mu$ inicial		1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
$\mu$ 2016		1001.52	1000.94	1001.30	1001.37	1001.32	1001.45	1001.07	1000.71	1001.27
Percentagem desvio		0.15	0.09	0.13	0.14	0.13	0.15	0.11	0.07	0.13
$\sigma$ padrão inicial		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
$\sigma$ 2016		4.05	1.54	3.73	1.50	2.66	2.79	2.25	1.61	3.17
Percentagem desvio		170.00	2.67	148.67	0.00	77.33	86.00	50.00	7.33	111.33
$C_p$ inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	0.67	1.67	1.67	1.67
$C_p$ 2016		0.62	1.62	0.67	1.67	0.94	0.90	1.11	1.55	0.79
$C_{pk}$ inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
$C_{pk}$ 2016		0.49	1.42	0.55	1.36	0.77	0.72	0.95	1.41	0.66

**Figura C.1 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina E**

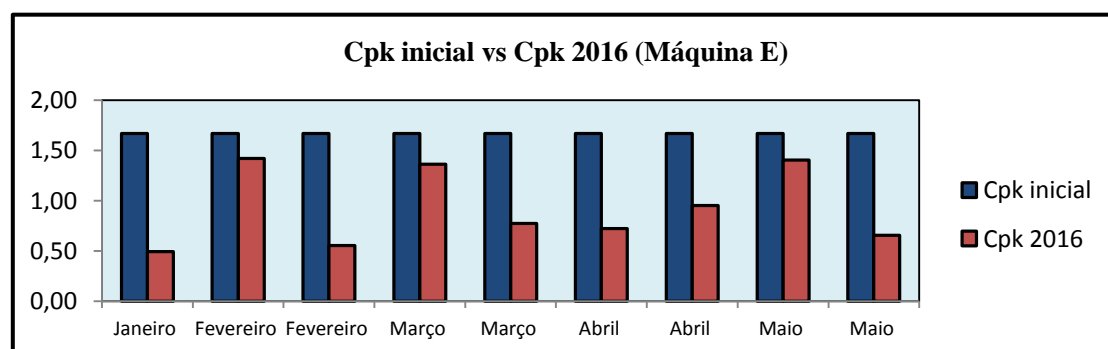




**Figura C.2** Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina E



**Figura C.3** Representação gráfica da evolução do Cp do processo da máquina E

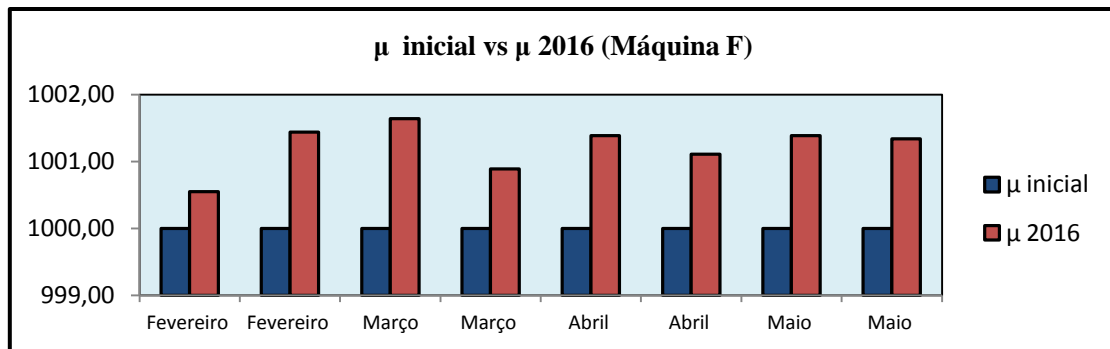


**Figura C.4** Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da máquina E

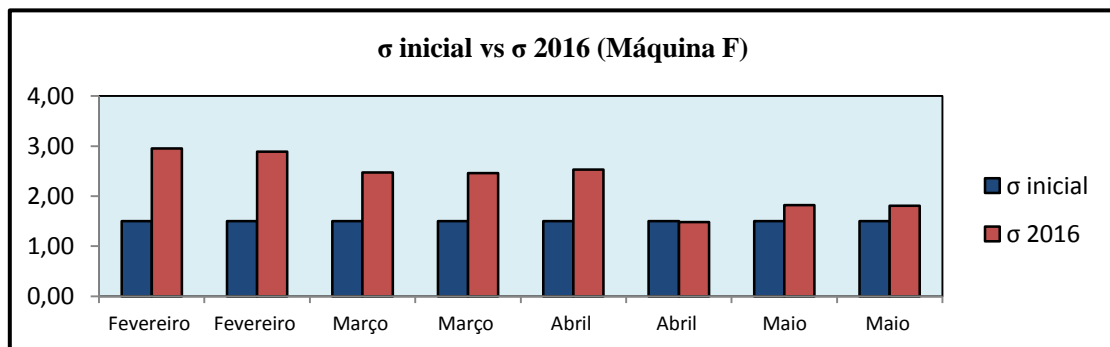
**Tabela C.3** Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina F

Mês	1ª Janeiro	2ª Janeiro	1ª Fevereiro	2ª Fevereiro	1ª Março	2ª Março	1ª Abril	2ª Abril	1ª Maio	2ª Maio
$\mu$ inicial			1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
$\mu$ 2016			1000.55	1001.44	1001.64	1000.89	1001.39	1001.11	1001.39	1001.34
Percentagem desvio			0.05	0.14	0.16	0.09	0.14	0.11	0.14	0.13
$\sigma$ padrão inicial			1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
$\sigma$ 2016			2.95	2.89	2.47	2.46	2.53	1.48	1.82	1.81
Percentagem desvio			96.67	92.67	64.67	64.00	68.67	1.33	21.33	20.67
Cp inicial			1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
Cp 2016			0.85	0.87	1.01	1.02	0.99	1.69	1.37	1.38
Cpk inicial			1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
Cpk 2016			0.79	0.70	0.79	0.90	0.81	1.44	1.12	1.13

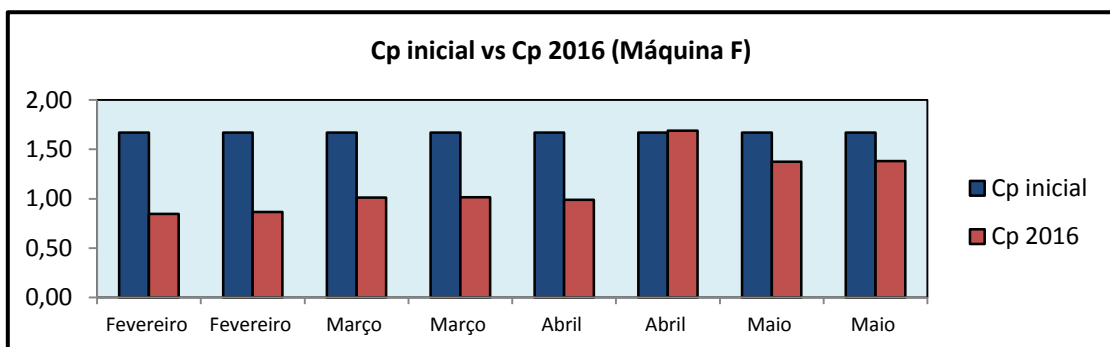




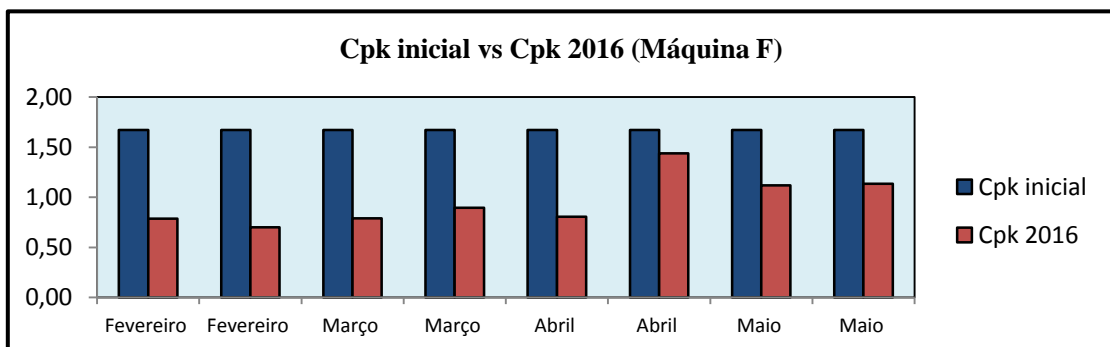
**Figura C.5 Representação gráfica da evolução da média do processo da máquina F**



**Figura C.6 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da máquina F**



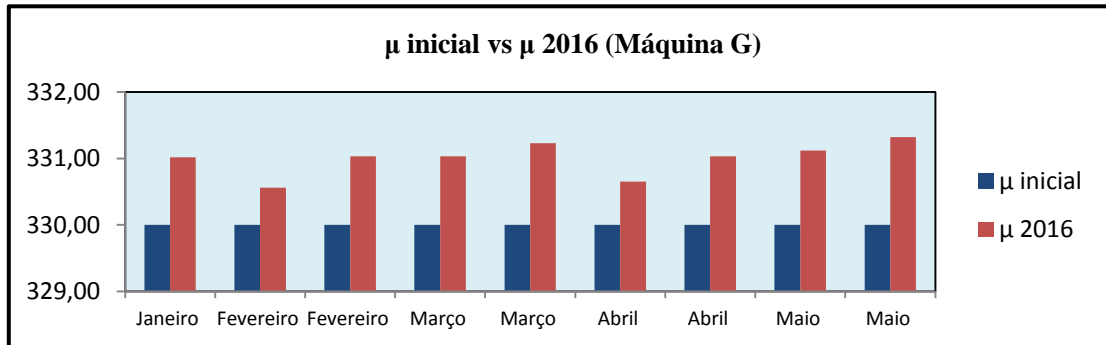
**Figura C.7 Representação gráfica da evolução do Cp do processo da máquina F**



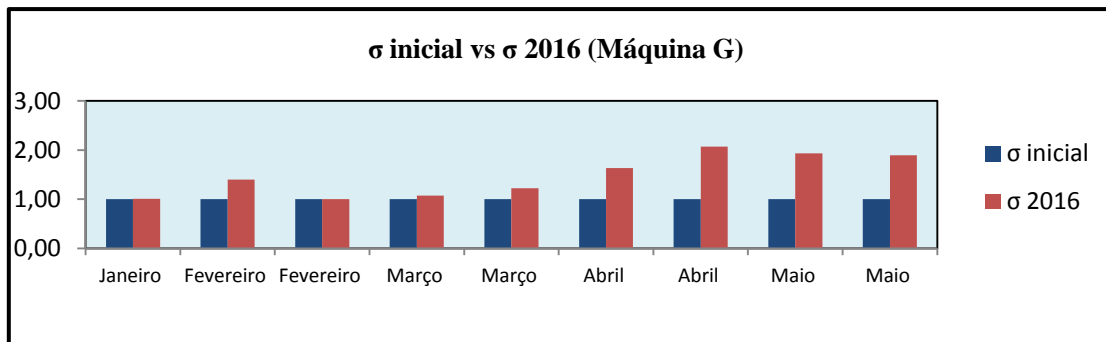
**Figura C.8 Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da máquina F**

**Tabela C.4 Evolução dos parâmetros e índices de capacidade do processo da Máquina G**

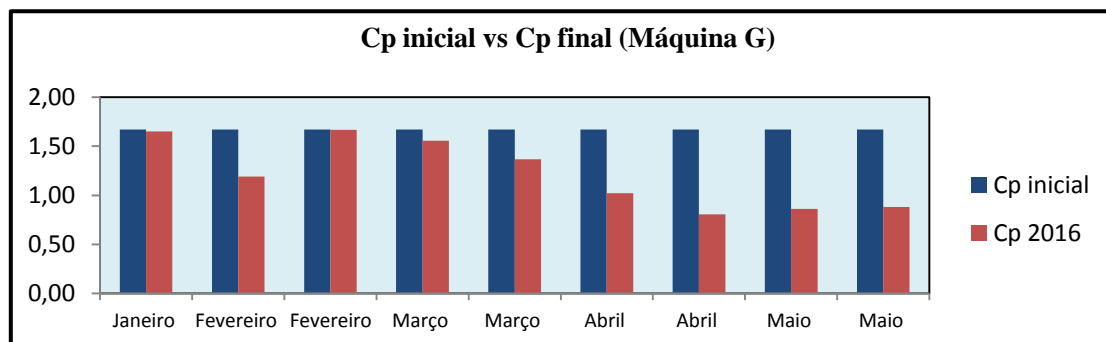
Mês	1ª Janeiro	2ª Janeiro	1ª Fevereiro	2ª Fevereiro	1ª Março	2ª Março	1ª Abril	2ª Abril	1ª Maio	2ª Maio
$\mu$ inicial		330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
$\mu$ 2016		331.02	330.56	331.03	331.03	331.23	330.65	331.03	331.12	331.32
Percentagem desvio		0.10	0.06	0.10	0.10	0.12	0.06	0.10	0.11	0.13
$\sigma$ padrão inicial		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\sigma$ 2016		1.01	1.40	1.00	1.07	1.22	1.63	2.07	1.93	1.89
Percentagem desvio		1.00	40.00	0.00	7.00	22.00	63.00	107.00	93.00	89.00
Cp inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
Cp 2016		1.65	1.19	1.67	1.56	1.37	1.02	0.81	0.86	0.88
Cpk inicial		1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
Cpk 2016		1.31	1.06	1.32	1.24	1.03	0.89	0.64	0.67	0.65



**Figura C.9 Representação gráfica da evolução da média do processo da Máquina G**



**Figura C.10 Representação gráfica da evolução do desvio-padrão do processo da Máquina G**



**Figura C.11 Representação gráfica da evolução do Cp do processo da Máquina G**

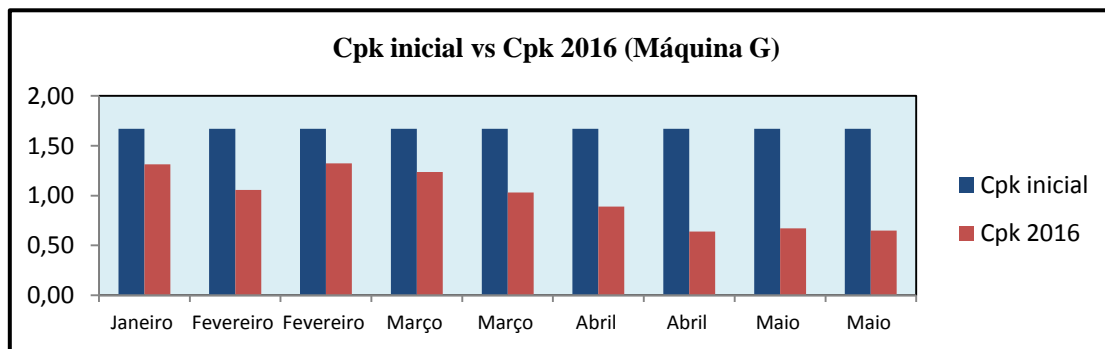


Figura C.12 Representação gráfica da evolução do Cpk do processo da Máquina G

## Anexo D : Cálculo do nível *Sigma* médio

Apresentam-se as etapas para o cálculo do nível Sigma médio correspondentes às máquinas E, F e G. O raciocínio é análogo ao descrito no corpo principal da tese, no capítulo 2.3.8.

Tabela D.1 Cálculo do nível *Sigma* de cada quinzena da Máquina E

Máquina E	Janeiro 2	Fevereiro 1	Fevereiro 2	Março 1	Março 2	Abril 1	Abril 2	Maio 1	Maio 2
$\mu$	1001.52	1000.99	1001.30	1001.37	1001.32	1001.45	1001.07	1000.71	1001.27
$\sigma$	4.05	1.54	3.73	1.50	2.66	2.79	2.25	1.61	3.17
$P(X > 1007,5) + P(X < 992,5)$	8.29E-02	1.18E-05	5.74E-02	2.19E-05	1.05E-02	1.57E-02	2.20E-03	1.25E-05	2.75E-02
DPMO	82867.34	11.84	57392.48	21.88	10538.22	15730.47	2202.89	12.53	27522.33
Nível <i>Sigma</i>	2.9	5.7	3.1	5.6	3.8	3.7	4.3	5.7	3.4

Tabela D.2 Cálculo do nível *Sigma* de cada quinzena da Máquina F

Máquina F	Fevereiro 1	Fevereiro 2	Março 1	Março 2	Abril 1	Abril 2	Maio 1	Maio 2
$\mu$	1000.55	1001.44	1001.64	1000.89	1001.39	1001.11	1001.39	1001.34
$\sigma$	2.95	2.89	2.47	2.46	2.53	1.48	1.68	1.81
$P(X > 1007,5) + P(X < 992,5)$	1.24E-02	1.90E-02	8.94E-03	3.93E-03	8.09E-03	7.89E-06	1.38E-04	3.33E-04
DPMO	12416.28	18991.14	8942.44	3929.07	8088.02	7.89	138.03	333.39
Nível <i>Sigma</i>	3.7	3.6	3.9	4.2	3.9	5.8	5.1	4.9

Tabela D.3 Cálculo do nível *Sigma* de cada quinzena da Máquina G

Máquina G	Janeiro 2	Fevereiro 1	Fevereiro 2	Março 1	Março 2	Abril 1	Abril 2	Maio 1	Maio 2
$\mu$	331.02	330.56	331.03	331.03	331.23	330.65	331.03	331.12	331.32
$\sigma$	1.01	1.40	1.00	1.07	1.22	1.63	2.07	1.93	1.89
$P(X > 1007,5) + P(X < 992,5)$	4.05E-05	8.08E-04	3.75E-05	9.84E-05	1.03E-03	3.97E-03	2.93E-02	2.32E-02	2.62E-02
DPMO	40.52	808.46	37.52	98.44	1031.07	3966.77	29297.25	23190.17	26162.28
Nível <i>Sigma</i>	5.4	4.7	5.5	5.2	4.6	4.2	3.4	3.5	3.4

## Anexo E: Observações da máquina E para o DOE

Tabela E.1 Observações da Máquina E para o DOE

Máquina D	Pressão: 1,5 kg		Pressão:1,5 kg		Pressão: 1,7kg		Pressão: 1,3 kg		Pressão: 1,3 kg		Pressão: 1,7 kg	
	Caudal:7760 l/h		Caudal: 7780 l/h		Caudal: 7760 l/h		Caudal: 7760 l/h		Caudal: 7780 l/h		Caudal: 7780 l/h	
Média	1000.79	1006.04	1001.71	1004.34	1000.20	1005.49	999.91	1004.44	1001.33	1006.65	1001.02	1006.10
Desvio-padrão	0.88	0.95	1.43	1.44	1.77	1.64	1.87	1.95	2.10	2.04	1.93	1.96

## Anexo F : Análise dos melhores níveis e pressupostos para a máquina E

À semelhança do que foi feito no corpo principal da dissertação, é apresentada a tabela ANOVA a partir das observações da máquina E, com o objetivo de aferir quais os fatores que influenciam significativamente a resposta, para um nível de significância de 5%.

Tabela F.1 Tabela ANOVA para a Máquina E

Factor		SS	df	MS	F	p
(1)A	L+Q	1,485267	2	0,742633	271,6951	0,000001
(2)B	L	0,282133	1	0,282133	103,2195	0,000053
1*2		0,071467	2	0,035733	13,0732	0,006502
Error		0,016400	6	0,002733		
Total SS		1,855267	11			

Para verificar a validade dos pressupostos, realizou-se a análise da Normalidade e da Homogeneidade, como se apresenta de seguida.

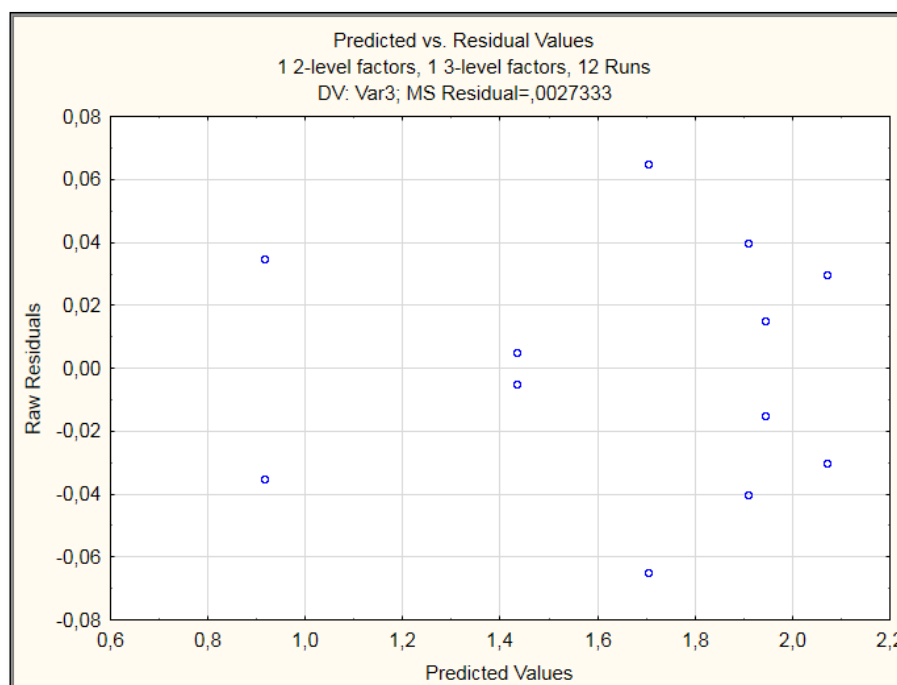
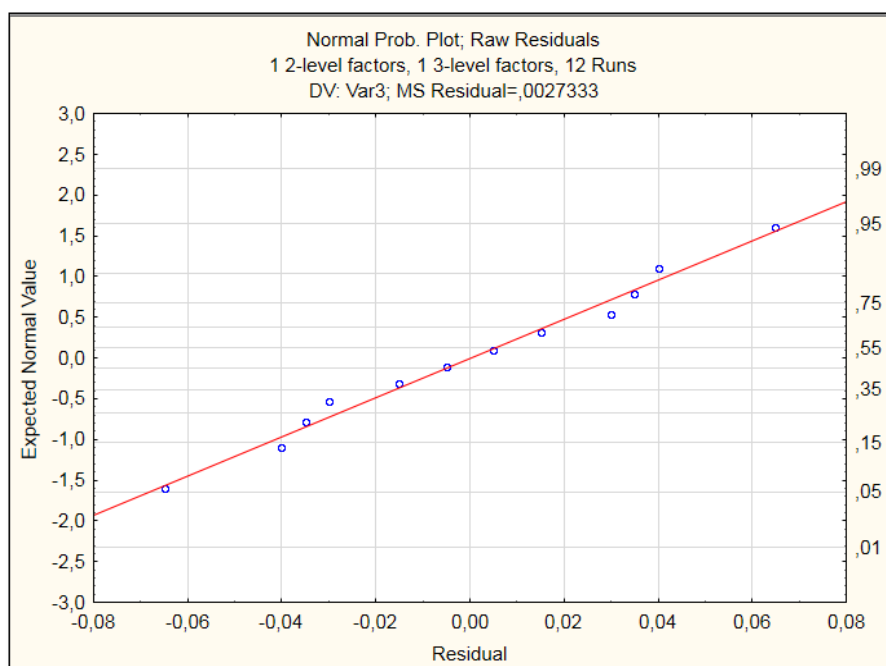
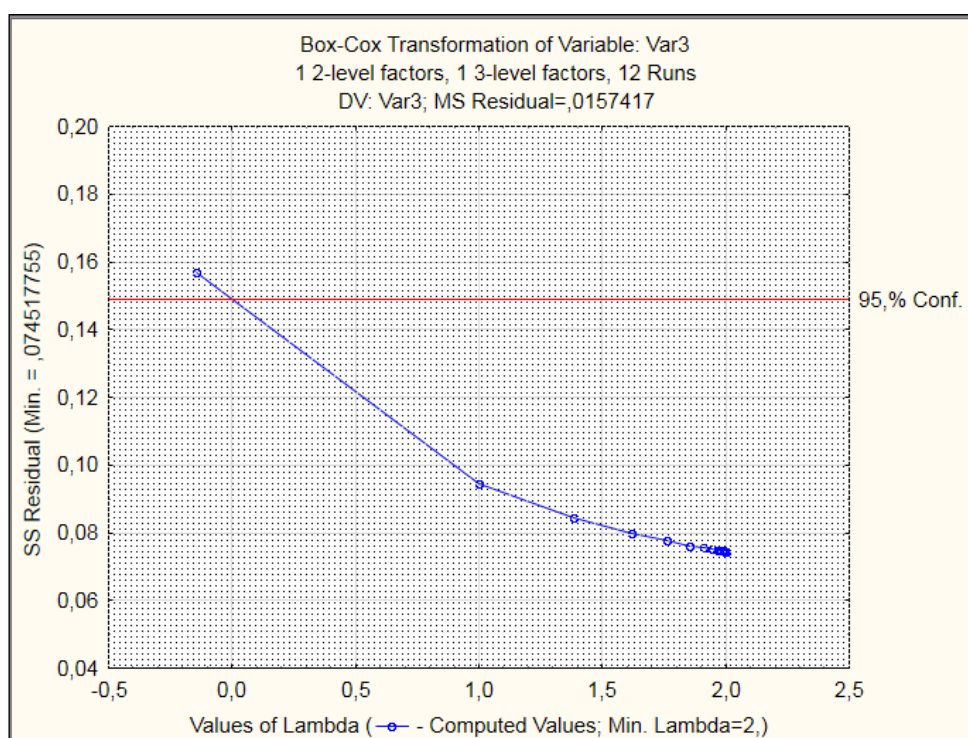


Figura F.1 Análise da Homogeneidade

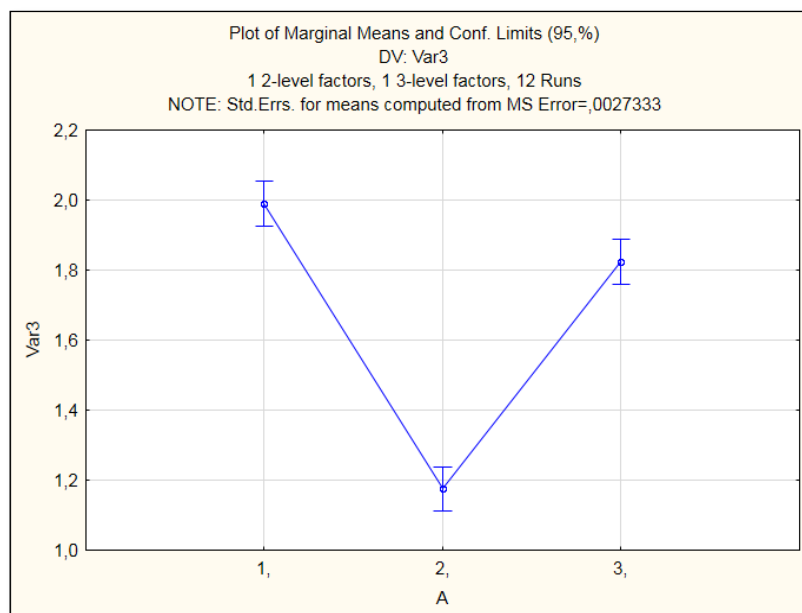


**Figura F.2 Análise da Normalidade dos resíduos**

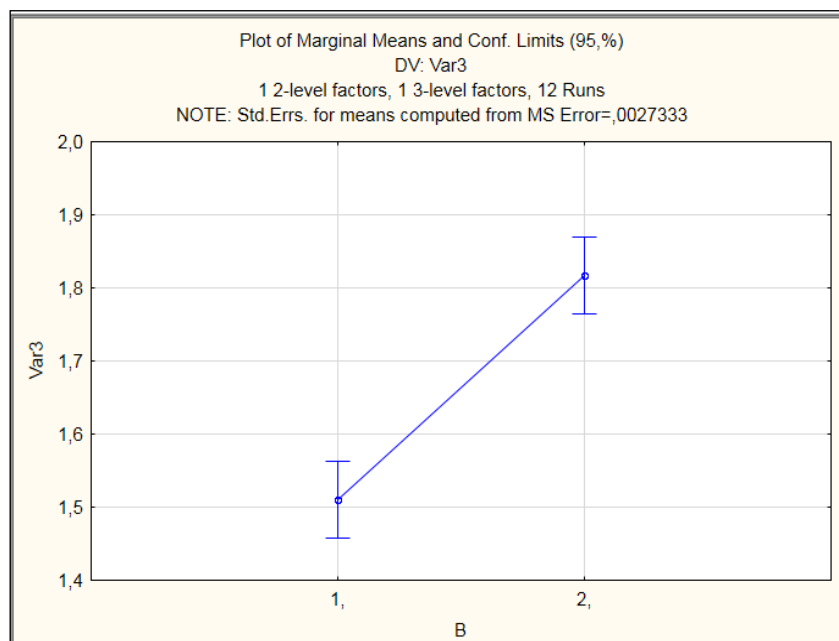


**Figura F.3 Box-Cox**

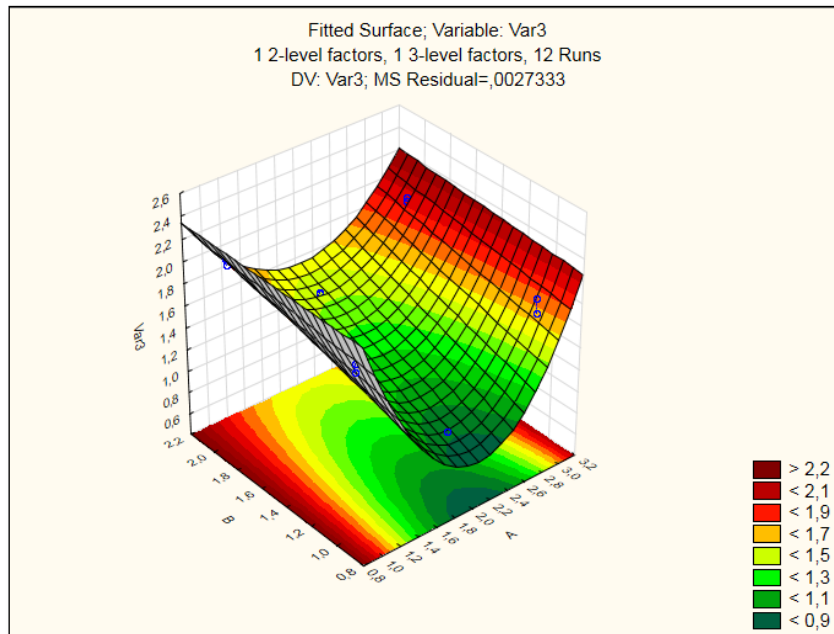
Como se verifica, não há indícios da violação dos pressupostos. A figura F.3, atesta a não necessidade de transformar os dados. Como tal, pode-se proceder à análise dos melhores níveis para a máquina E. O fator “A” corresponde à “Pressão” e o fator B corresponde ao “Caudal”.



**Figura F.4 Melhor nível do fator "Pressão"**

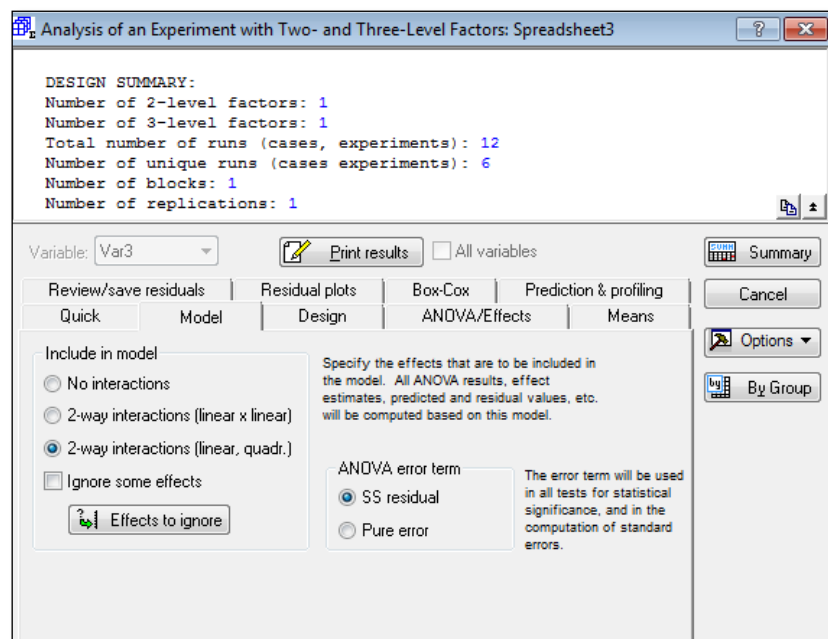


**Figura F.5 Melhor nível do fator "Caudal"**



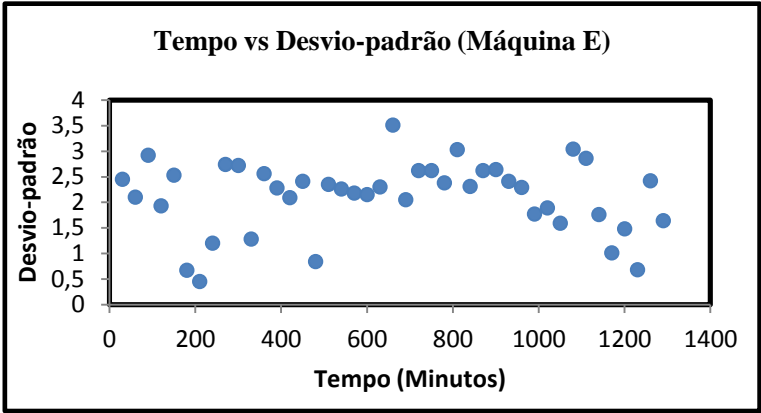
**Figura F.6 Melhor nível da interação**

As conclusões acerca dos melhores níveis de cada fator encontram-se no corpo principal da dissertação. Apresenta-se, ainda, uma imagem das configurações no *Software Statistica* necessárias para a realização do Desenho de experiências de dois fatores a vários níveis.

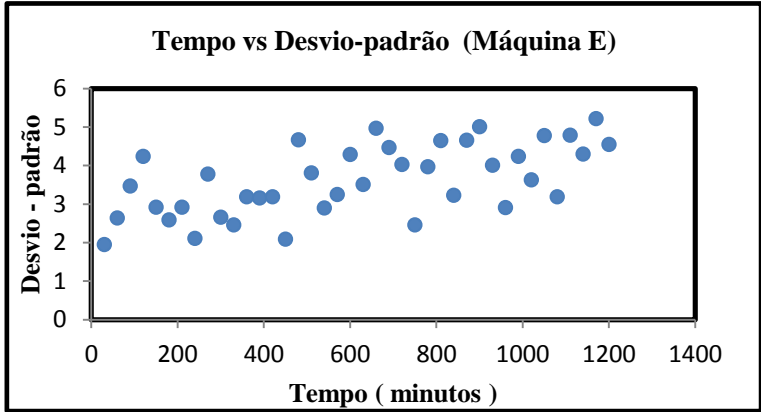


**Figura F.7 Configuração do Statistica para o DOE**

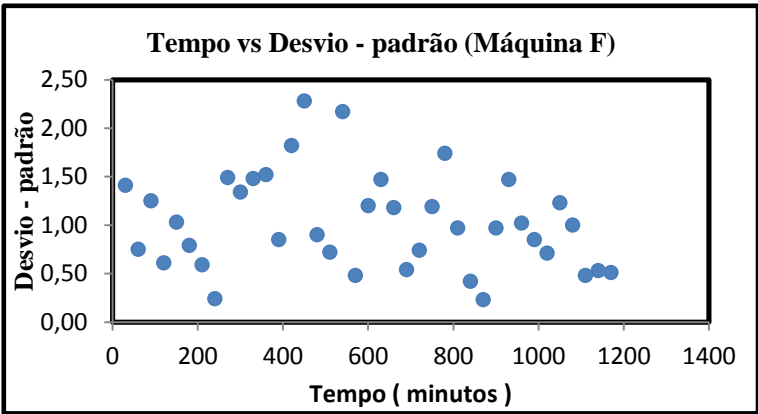
**Anexo G: Diagramas de Dispersão**



**Figura G.1 Diagrama de Dispersão da Máquina E**



**Figura G.2 Diagrama de Dispersão da Máquina E**



**Figura G.3 Diagrama de Dispersão da Máquina F**



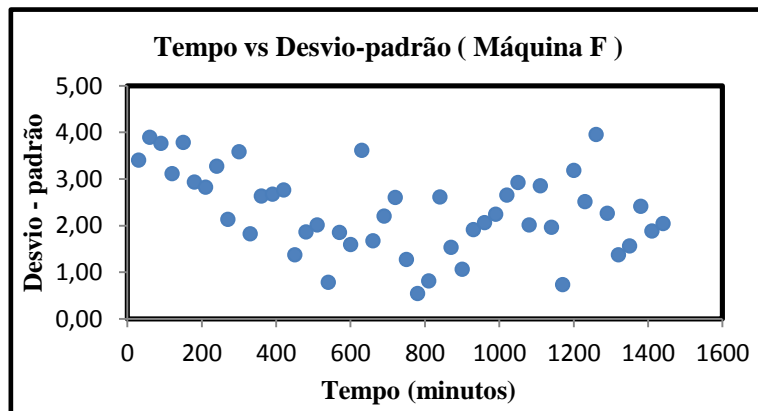


Figura G.4 Diagrama de Dispersão da Máquina F

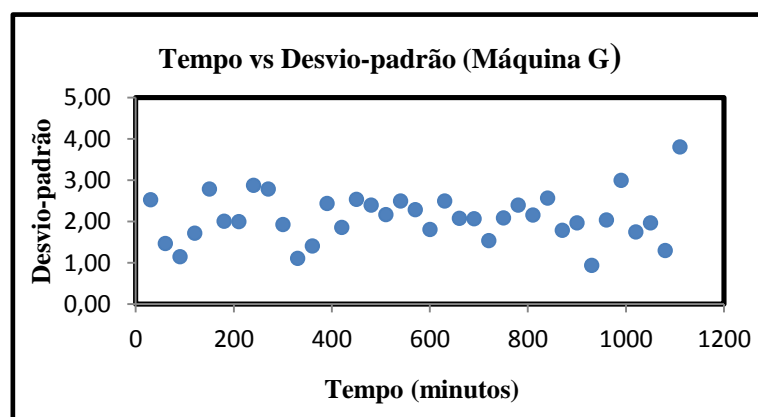


Figura G.5 Diagrama de Dispersão da Máquina G

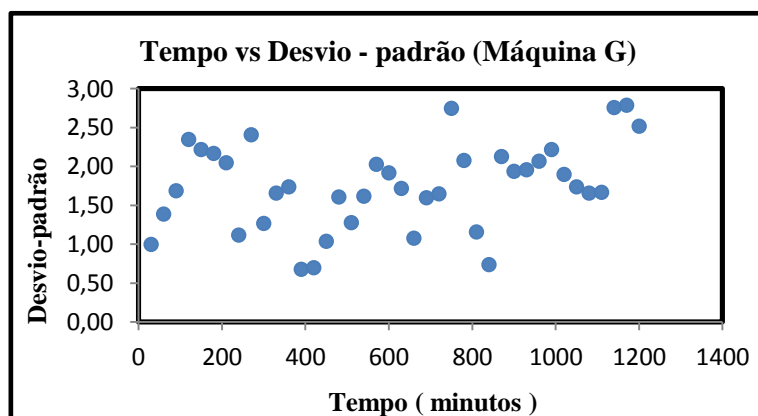


Figura G.6 Diagrama de Dispersão da Máquina G

## Anexo H : Análise da Normalidade dos dados dos Testes-Piloto

Tabela H.11 Análise da Normalidade dos dados dos Testes-Piloto

	Dimensão	Ks	Ks crítico	Conclusão
<b>Máquina D</b>	50	0.095	0.125	Normal
	100	0.076	0.089	Normal
	150	0.054	0.072	Normal
	200	0.054	0.063	Normal
	250	0.043	0.056	Normal
	300	0.043	0.051	Normal
	350	0.039	0.047	Normal
	372	0.039	0.046	Normal
<b>Máquina E</b>	50	0.121	0.125	Normal
	100	0.083	0.089	Normal
	150	0.064	0.072	Normal
	200	0.051	0.063	Normal
	250	0.050	0.056	Normal
	300	0.045	0.051	Normal
	350	0.045	0.047	Normal
	384	0.043	0.045	Normal
<b>Máquina F</b>	50	0.083	0.125	Normal
	100	0.074	0.089	Normal
	150	0.069	0.072	Normal
	200	0.061	0.063	Normal
	250	0.035	0.056	Normal
	300	0.039	0.051	Normal
	350	0.025	0.047	Normal
<b>Máquina G</b>	50	0.085	0.125	Normal
	100	0.043	0.089	Normal
	150	0.046	0.072	Normal
	200	0.034	0.063	Normal
	250	0.035	0.056	Normal
	300	0.037	0.051	Normal
	350	0.041	0.047	Normal
	368	0.039	0.046	Normal

## Anexo I: Legislação em vigor

A figura I.1 refere-se ao Limite Legal em relação à média do lote. A figura I.2 refere-se aos Limites Individuais.

<b>Artigo 4.º</b>	
<b>Introdução no mercado e livre circulação de determinados produtos</b>	
1 — Os produtos enumerados no n.º 2 do anexo I e apresentados em pré-embalagens nos intervalos enumerados no n.º 1 do referido anexo só podem ser colocados no mercado se forem pré-embalados nas quantidades nominais referidas no n.º 1 do anexo I.	
2 — O controlo metrológico das quantidades dos produtos pré-embalados é estabelecido de acordo com a Portaria n.º 1198/91, de 18 de Dezembro.	
3 — Os pré-embalados devem obedecer, na sua comercialização, às seguintes condições gerais:	
a) O seu conteúdo efectivo não deve ser inferior, em média, à quantidade nominal nele marcada;	
b) A proporção de pré-embalados com um erro, por defeito, superior ao erro admissível definido no regulamento de controlo metrológico aplicável deve permitir aos lotes satisfazer os critérios de avaliação definidos no mesmo regulamento;	
c) Nenhum pré-embalado deve ter um erro, por defeito, superior ao dobro do erro admissível.	

Figura I.1 Excerto do decreto-lei nº199/2008 de 8 de Outubro

QUADRO N.º 1		
Quantidade nominal (grama ou mililitro)	Erros admissíveis por defeito	
	Porcentagem	Em massa ou volume (grama ou mililitro)
Até 50 .....	9,0	—
De 50 a 100 .....	—	4,5
De 100 a 200 .....	4,5	—
De 200 a 300 .....	—	9,0
De 300 a 500 .....	3,0	—
De 500 a 1000 .....	—	15,0
De 1000 a 10 000 .....	1,5	—
De 10 000 a 15 000 .....	—	150,0
Superior a 15 000 .....	1,0	—

Figura I.2 Excerto da portaria nº 1198/91 de 18 de Dezembro